



TUGAS AKHIR - TE141599

**OPTIMASI REKONFIGURASI JARINGAN, PENENTUAN
LOKASI KAPASITOR DAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG)
UNTUK MEMINIMALKAN DEVIASI TEGANGAN PADA
SISTEM DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN
GENETIC ALGORITHM (GA)**

Ahmad Rusydi Akbar
NRP 2213106011

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

**OPTIMIZATION OF NETWORK RECONFIGURATION,
CAPASITOR AND DISTRIBUTED GENERATION (DG)
PLACEMENT FOR VOLTAGE DEVIATION MINIMIZATION
IN RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM USING
GENETIC ALGORITHM (GA)**

Ahmad Rusydi Akbar
NRP 2213106011

Counsellor Lecturer
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016

**OPTIMASI REKONFIGURASI JARINGAN, PENENTUAN
LOKASI KAPASITOR DAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG)
UNTUK MEMINIMALKAN DEVIASI TEGANGAN PADA
SISTEM DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN
GENETIC ALGORITHM (GA)**

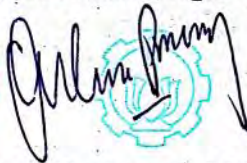
TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

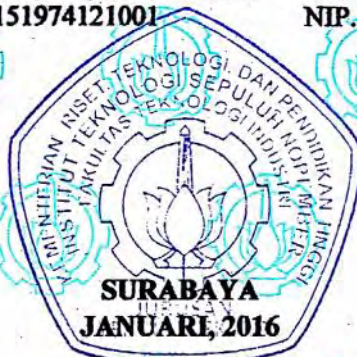
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
NIP. 194907151974121001

Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
NIP. 195512071980031004



**OPTIMASI REKONFIGURASI JARINGAN, PENENTUAN
LOKASI KAPASITOR DAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG)
UNTUK MEMINIMALKAN DEVIASI TEGANGAN PADA
SISTEM DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN
GENETIC ALGORITHM (GA)**

Nama : Ahmad Rusydi Akbar
NRP : 2213106011
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRAK

Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan penambahan penduduk. Sedangkan kualitas sistem distribusi tenaga listrik yang semakin kompleks dan luas masih memiliki kekurangan yang menyebabkan deviasi tegangan terus meningkat. Untuk menjaga atau meningkatkan level tegangan dan menurunkan deviasi tegangan pada sistem distribusi radial, terdapat teknik-teknik seperti rekonfigurasi jaringan, pemasangan kapasitor dan *Distributed Generation* (DG) yang tepat pada jaringan distribusi radial. Pada tugas akhir ini dilakukan penelitian tentang penggabungan dari teknik- teknik tersebut menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) untuk meminimalkan deviasi tegangan yang diujikan pada sistem distribusi IEEE 69 bus. Penggabungan dilakukan secara bertahap (berurutan) dan bersamaan (simultan). Dari hasil pengujian yang diperoleh, teknik optimasi rekonfigurasi mampu menurunkan deviasi tegangan dari 0.0909 pu (*base*) menjadi 0.0505 pu. Kemudian optimasi rekonfigurasi dan penempatan kapasitor mampu menurunkan deviasi tegangan menjadi 0.0246 pu dan hasil paling minimal didapat dengan penggabungan ketiga teknik optimasi tersebut yaitu dengan deviasi tegangan 0.0083 pu.

Kata Kunci : Deviasi tegangan, rekonfigurasi, penempatan kapasitor dan *distributed generation* (DG), *genetic algorithm* (GA).



OPTIMIZATION OF NETWORK RECONFIGURATION, CAPASITOR AND DISTRIBUTED GENERATION (DG) PLACEMENT FOR VOLTAGE DEVIATION MINIMIZATION IN RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM USING GENETIC ALGORITHM (GA)

Name : Ahmad Rusydi Akbar
NRP : 2213106011
1st Supervisor : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
2nd Supervisor : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRACT

The demand for electricity continues to increase along with the development of technology and population. While the quality of electric power distribution system that is increasingly complex and far-reaching still have weaknesses that caused the voltage deviation on the rise. To maintain or increase the level of voltage and lowering the voltage deviation on radial distribution system, there are techniques such as network reconfiguration, installation of capacitors and Distributed Generation (DG) on radial distribution network. In this final projecct done research on merger of these techniques using the method of Genetic Algorithm (GA) to minimize the voltage deviation to be tested on a distribution system IEEE 69 bus. The merger was done gradually (in sequence) and concurrent (simultaneous). Of test results obtained, the reconfiguration optimization are able to lower the voltage deviation of 0.0909 pu (base) became 0.0505 pu. Then the optimization of reconfiguration and capacitor placement is able to lower the voltage deviation be 0.0246 pu and the results obtained with the least merge third optimization techniques with the voltage deviation 0.0083 pu.

Keywords: Voltage deviation, reconfiguration, capacitor and distributed generation (DG) placement, genetic algorithm (GA).



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penelitian dan penulisan tugas akhir dengan judul **“Optimasi Rekonfigurasi Jaringan, Penentuan Lokasi Kapasitor Dan Distributed Generation (DG) Untuk Meminimalkan Deviasi Tegangan Pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Genetic Algorithm (GA)”** ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini mengalami kendala-kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, bantuan dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga semua kendala yang ada dapat diatasi oleh penulis. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang tua tercinta, Ayahanda Syaiful Amri dan Ibunda Inwarnita serta seluruh anggota keluarga yang telah banyak memberikan perhatian, dukungan, semangat doa kepada penulis.
2. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D dan Bapak Dr. Ir. Soedibyo, M.MT selaku dosen pembimbing 1 dan II yang telah memberi banyak ilmu dan arahan, semoga bapak sehat selalu dan diberi keberkahan ilmu.
3. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro – ITS, yang telah banyak memberikan ilmu serta motivasi dalam memahami setiap ilmu yang dipelajari
4. Seluruh teman-teman LJ Elits genap 2013 terutama rekan seperjuangan PSSSL yang telah banyak memberikan masukan, bantuan dan motivasi, sukses selalu untuk kita semua teman-teman.

Dalam menyusun tugas akhir ini, penulis berharap semoga nantinya tugas akhir ini bermanfaat jikapun ada kekurangan, saran serta kritik penulis harapkan, terima kasih.

Surabaya, Januari 2016

Ahmad Rusydi Akbar



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi dan Manfaat	5
BAB II SISTEM DISTRIBUSI, DEVIASI TEGANGAN DAN PARAMETER OPTIMASI	7
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	7
2.1.1 Jaringan Distribusi Sistem Radial	8
2.2 Rekonfigurasi Jaringan	11
2.3 Kapasitor.....	11
2.4 <i>Distributed Generation</i> (DG)	12
2.5 Deviasi Tegangan	14
2.6 <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	14
2.6.1 Komponen <i>Genetic Algorithm</i> (GA).....	15
2.6.2 Parameter <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	15
2.6.3 Proses <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	17
BAB III PERANCANGAN DAN PEMODELAN OPTIMASI	21
3.1 Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus	21

3.2 <i>Scenario</i> Optimasi	25
3.3 <i>Constraint</i> (Batasan)	26
3.4 Penerapan <i>Genetic Algorithm</i> (GA) pada Optimasi	27
3.4.1 Perancangan Komponen dan Parameter <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	29
3.4.2 Pemodelan Rekonfigurasi dengan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	30
3.4.3 Pemodelan Penempatan Kapasitor dengan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	31
3.4.4 Pemodelan Penempatan DG dengan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	33
3.4.5 Pemodelan Simultan Rekonfigurasi dan Penempatan Kapasitor dengan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	34
3.4.6 Pemodelan Simultan Rekonfigurasi, Penempatan kapasitor dan DG dengan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	35
3.5 Proses Optimasi Menggunakan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	36
3.6 Aliran Daya	39
BAB IV SIMULASI DAN ANALISA	41
4.1 <i>Scenario</i> 1.....	43
4.2 <i>Scenario</i> 2.....	44
4.3 <i>Scenario</i> 3.....	47
4.4 <i>Scenario</i> 4.....	50
4.5 <i>Scenario</i> 5.....	54
4.6 <i>Scenario</i> 6.....	58
4.7 Perbandingan Optimasi Berurutan dan Simultan	63
4.8 Validasi	65
BAB V PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	71
BIODATA PENULIS	95

TABLE OF CONTENT

	Page
TITLE PAGE	
VALIDATION SHEET	
APPROVAL SHEET	
ABSTRACT (IND)	i
ABSTRACT (ENG)	iii
PREFACE	v
TABEL OF CONTENT	vii
LIST OF FIGURE	ix
LIST OF TABLE	xi
CHAPTER I INTRODUCTION	1
1.1 Backgroud.....	1
1.2 Problems	1
1.3 Objective.....	2
1.4 Limitations.....	2
1.5 Methodology.....	2
1.6 Systematic of Writing.....	4
1.7 Relevance	5
CHAPTER II DISTRIBUTION SYSTEM, VOLTAGE DEVIATION AND PARAMETERE'S OPTIMIZATION	7
2.1 Distribution System	7
2.1.1 Radial Distribution System.....	8
2.2 Network Reconfiguration	11
2.3 Capasitor.....	11
2.4 Distributed Generation (DG)	12
2.5 Voltage Deviation.....	14
2.6 Genetic Algorithm (GA).....	14
2.6.1 Components of Genetic Algorithm (GA)	15
2.6.2 Parameter of Genetic Algorithm (GA)	15
2.6.3 Proces of Genetic Algorithm (GA).....	17
CHAPTER III DESIGN AND OPTIMIZATION MODELING ..	21
3.1 Radial Distribution System IEEE 69 Bus	21

3.2 Scenario of Optimization	25
3.3 Constraints	26
3.4 Aplication of Genetic Algorithm (GA) on Optimization.....	27
3.4.1 Design of Components and Parameter's Genetic Algorithm (GA)	29
3.4.2 Reconfiguration Modeling with Genetic.Algorithm (GA).....	30
3.4.3 Capasitor Placement Modeling with Genetic Algorithm (GA)	31
3.4.4 DG Placement Modeling with Genetic Algorithm (GA).....	33
3.4.5 Simultaneous Rekonfiguration and Capacitor Placement Modeling with Genetic.Algorithm (GA).....	34
3.4.6 Simultaneous Rekonfiguration, Capacitor and DG Placement with Genetic.Algorithm (GA)	35
3.5 Optimization Proces Using Genetic Algorithm (GA).....	36
3.6 Load Flow.....	39
CHAPTER IV SIMULATION AND ANALYSIS	41
4.1 Scenario 1	43
4.2 Scenario 2	44
4.3 Scenario 3	47
4.4 Scenario 4	50
4.5 Scenario 5	54
4.6 Scenario 6	58
4.7 Comparison of Sequential and Simultaneous Optimization	63
4.8 Validation	65
CHAPTER V CLOSING	67
5.1 Conclusion	67
5.2 Suggestion	67
REFERENCES	69
APPENDIX	71
BIOGRAPHY	95

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	4
Gambar 2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	7
Gambar 2.2 Jaraingan Distribusi Sistem Radial	8
Gambar 2.3 Jaringan Radial Tipe Pohon	9
Gambar 2.4 Jaringan Radial dengan <i>Tie Switch</i>	9
Gambar 2.5 Jaringan Radial dengan Pusat Beban	10
Gambar 2.6 Jaringan Radial dengan Pembagian Phase	10
Gambar 2.7 Pemasangan Kapasitor Secara Parallel	11
Gambar 2.8 <i>Distributed Generation</i> (DG) Pada Smart Grid	12
Gambar 2.9 <i>Crossover</i> Satu Titik	19
Gambar 2.10 <i>Crossover</i> Dua Titik	19
Gambar 2.11 <i>Mutation</i> Dua Titik	20
Gambar 3.1 Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus	21
Gambar 3.2 <i>Flowchart scenario</i> 1	26
Gambar 3.3 Flowchart Optimasi Untuk Minimisasi Deviasi Tegangan	28
Gambar 3.4 Pengkodean Binner Rekonfigurasi	31
Gambar 3.5 Nsbit Rekonfigurasi	31
Gambar 3.6 Pengkodean Binner Kapasitor	32
Gambar 3.7 Contoh <i>Decoding</i> Kromosom Kapasitor	32
Gambar 3.8 Pengkodean Binner DG	33
Gambar 3.9 Contoh <i>Decoding</i> Kromosom DG	34
Gambar 3.10 Optimasi Simultan Rekonfigurasi dan Kapasitor	34
Gambar 3.11 Contoh Decoding Kromosom Simultan Rekonfigurasi dan .Kapasitor	35
Gambar 3.12 Optimasi Simultan Rekonfigurasi, Kapasitor dan DG .	35
Gambar 3.13 Contoh Decoding Kromosom Simultan Rekonfigurasi, .Kapasitor dan DG	36
Gambar 3.14 <i>Flowchart</i> Optimasi Minimisasi Deviasi Tegangan dengan GA	38
Gambar 3.15 Contoh Single Line Diagram	39
Gambar 4.1 Deviasi Tegangan Awal Sistem Distribusi IEEE 69 Bus	43
Gambar 4.2 Profil Tegangan Awal Sistem Distribusi IEEE 69 Bus	44

Gambar 4.3	Deviasi Tegangan Scenario 2	46
Gambar 4.4	Profil Tegangan Scenario 2	46
Gambar 4.5	Deviasi Tegangan Scenario 3	49
Gambar 4.6	Profil Tegangan Scenario 3	49
Gambar 4.7	Deviasi Tegangan Scenario 4	52
Gambar 4.8	Profil Tegangan Scenario 4	53
Gambar 4.9	Deviasi Tegangan Scenario 5	56
Gambar 4.10	Profil Tegangan Scenario 5.....	56
Gambar 4.11	Deviasi Tegangan Minimum Scenario 1,2,3,5 (Optimasi ..Berurutan)	57
Gambar 4.12	Profil Tegangan Scenario 1,2,3,5 (Optimasi Berurutan).....	58
Gambar 4.13	Deviasi Tegangan Scenario 6	60
Gambar 4.14	Profil Tegangan Scenario 6.....	61
Gambar 4.15	Deviasi Tegangan Minimum Scenario 1,2,4,6 (Optimasi ..Simultan)	62
Gambar 4.16	Profil Tegangan Scenario 1,2,4,6 (Optimasi Simultan)	62
Gambar 4.17	Perbandingan Deviasi Tegangan Minimum Scenario 1-6	63

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi Distributed Generation Berdasarkan Kapasitas Pembangkitan	13
Tabel 2.2	Klasifikasi Distributed Generation Berdasarkan Teknologi Pembangkitan	13
Tabel 3.1	Data Beban Sistem Distribusi IEEE 69 Bus	22
Tabel 3.2	Line Data Sistem Distribusi IEEE 69 Bus	23
Tabel 3.3	Data Tie Switch	25
Tabel 4.1	Tegangan dan Deviasi Tegangan Scenario 1	42
Tabel 4.2	Tegangan dan Deviasi Tegangan Scenario 2	44
Tabel 4.3	Solusi dan <i>Fitness</i> Terbaik Scenario 2 Menggunakan GA	47
Tabel 4.4	Tegangan dan Deviasi Tegangan Scenario 3	47
Tabel 4.5	Solusi dan <i>Fitness</i> Terbaik Scenario 3 Menggunakan GA.....	50
Tabel 4.6	Tegangan dan Deviasi Tegangan Scenario 4	50
Tabel 4.7	Solusi dan <i>Fitness</i> Terbaik Scenario 4 Menggunakan GA.....	53
Tabel 4.8	Tegangan dan Deviasi Tegangan Scenario 5	54
Tabel 4.9	Solusi dan <i>Fitness</i> Terbaik Scenario 5 Menggunakan GA	57
Tabel 4.10	Tegangan dan Deviasi Tegangan Scenario 6	58
Tabel 4.11	Solusi dan <i>Fitness</i> Terbaik Scenario 6 Menggunakan GA.....	61
Tabel 4.12	Perbandingan Solusi dan <i>Fitness</i> Terbaik Scenario 3 (berurutan) dan 4 (simultan) Menggunakan GA	64
Tabel 4.13	Perbandingan Solusi dan <i>Fitness</i> Terbaik Scenario 5 (berurutan) dan 6 (simultan) Menggunakan GA	64
Tabel 4.14	Validasi Simulasi Matlab dengan ETAP	65



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap **Ahmad Rusydi Akbar**, biasa dipanggil Rusdi. Lahir di Kota Bukittinggi – Sumatera Barat pada tanggal 18 februari tahun 1992. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri Andalas 07 Banuhampu kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Banuhampu dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Banuhampu. Pada tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma 3 di Politeknik Universitas Andalas atau sekarang bernama Politeknik Negeri Padang dengan program studi Teknik listrik. Pada tahun 2013 penulis menyelesaikan pendidikan Diploma 3 .Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan program studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro.

email : ahmadrusydiakbar@gmail.com

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan penambahan penduduk. Sedangkan kualitas sistem distribusi tenaga listrik yang semakin kompleks dan luas masih memiliki kekurangan yang menyebabkan deviasi tegangan terus meningkat. Salah satu cara meningkatkan kualitas sistem distribusi adalah dengan menjaga level tegangan di setiap bus pada keadaan normal. Sesuai dengan standar *American National Standart Institute (ANSI) standart C84.1* menetapkan bahwa variasi tegangan sistem distribusi harus dikontrol pada range tegangan -13% sampai 7% [1]. Tetapi kenyataannya dilapangan kebanyakan perusahaan listrik mencoba untuk menjaga variasi tegangan berada pada nilai $\pm 5\%$ sehingga deviasi tegangannya semakin kecil.

Untuk menjaga atau meningkatkan level tegangan pada sistem distribusi radial, terdapat teknik-teknik seperti rekonfigurasi jaringan, penentuan lokasi kapasitor dan *Distributed Generation* (DG) yang tepat pada jaringan distribusi Radial [2]. Rekonfigurasi jaringan, penentuan lokasi kapasitor dan DG harus dioptimalkan untuk mendapatkan hasil yang signifikan. Oleh sebab itu digunakan salah satu metoda sebagai alat bantu.

Pada tugas akhir ini dilakukan optimasi rekonfigurasi jaringan, penentuan lokasi kapasitor dan DG yang bertujuan untuk meminimalkan deviasi tegangan pada sistem distribusi radial. Optimasi tersebut menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA). Metode ini membantu menghasilkan atau menemukan rekonfigurasi ulang jaringan, penentuan lokasi kapasitor dan DG yang optimal dengan deviasi tegangan minimum pada sistem distribusi radial.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana cara optimasi rekonfigurasi jaringan, penentuan lokasi kapasitor dan *distributed generation* (DG) dengan deviasi

tegangan minimum pada sistem distribusi radial menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) pada software MATLAB ?

2. Membandingkan hasil deviasi tegangan minimum dari optimasi yang dilakukan secara berurutan dan simultan.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah memperoleh deviasi tegangan minimum dari pengoptimalan rekonfigurasi jaringan, penentuan lokasi kapasitor dan *Distributed Generation* (DG) menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) yang dilakukan secara berurutan dan simultan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Simulasi menggunakan sistem distribusi radial IEEE 69 Bus .
2. Optimasi menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA).
3. Simulasi menggunakan *software* Matlab R2010a.
4. Fungsi Objektif dari optimasi yang dilakukan adalah minimisasi deviasi tegangan.
5. Sistem yang diuji dalam keadaan normal.
6. KHA saluran dianggap ideal.
7. Parameter yang digunakan hanya magnitude tegangan.
8. Tidak membahas tentang aliran daya secara detail.

1.5 Metodologi

Metodologi penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur
Mempelajari materi yang berkaitan dengan aliran daya pada sistem distribusi radial. Mempelajari teknik optimasi rekonfigurasi jaringan, kapasitor dan DG. Selanjutnya teori *genetic algorithm* (GA), deviasi tegangan dan *software* MATLAB serta ETAP.
2. Pengambilan Data
Penulis melakukan pengambilan data pada *plant* (sistem distribusi IEEE 69 Bus) seperti *line* data, bus data, *tie switch*, tegangan dan parameter lain yang akan simulasikan pada *software* MATLAB.

3. Simulasi dan Analisa Data

Setelah pengambilan data maka diperoleh *line* data berupa nilai impedansi setiap saluran dengan *tie switch* dan *sectionalizing switch*. Kemudian data beban (bus data) dan tegangan. Selanjutnya penulis melakukan pemodelan optimasi rekonfigurasi ulang, penentuan lokasi kapasitor dan DG pada MATLAB. Pemodelan dilakukan ke dalam metoda *Genetic Algorithm* (GA) dengan fungsi objektif deviasi tegangan minimum.

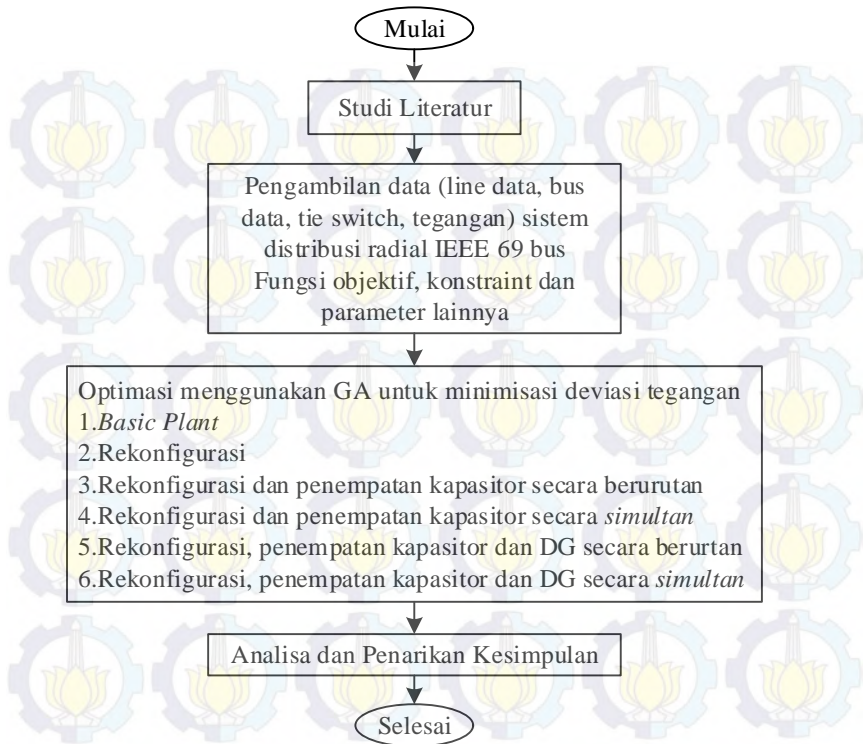
Pada tugas akhir ini, akan disimulasikan *plant basic* (sistem distribusi radial IEEE 69 Bus) terlebih dahulu, kemudian akan disimulasikan *scenario* selanjutnya, berikut *scenario* yang dilakukan:

- a. *Scenario Basic Plant*.
- b. *Scenario* optimasi rekonfigurasi.
- c. *Scenario* optimasi rekonfigurasi dan penempatan kapasitor secara berurutan.
- d. *Scenario* optimasi rekonfigurasi dan penempatan kapasitor secara **simultan**.
- e. *Scenario* optimasi rekonfigurasi, penempatan kapasitor dan DG secara berurutan.
- f. *Scenario* optimasi rekonfigurasi, penempatan kapasitor dan DG secara **simultan**.

Setelah dilakukan simulasi setiap *scenario* dan didapat hasil solusi dan *fitness* terbaik, kemudian dilanjutkan dengan analisa data setiap *scenario*, sehingga dapat dilihat pengaruh setiap teknik optimasi terhadap deviasi tegangan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.

4. Penarikan Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa hasil simulasi dari *scenario* tersebut, maka dapat ditarik kesimpulan. Kesimpulan ini merupakan jawaban dari perumusan masalah. Gambar 1.1 merupakan gambar diagram alir pengerjaan tugas akhir.



Gambar 1.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah :

1. BAB 1
Pendahuluan berisi tentang latar belakang, permasalahan, tujuan tugas akhir, batasan masalah, metodologi tugas akhir, sistematika penulisan dan relevansi atau manfaat dari tugas akhir.
2. BAB 2
Sistem distribusi, deviasi tegangan dan parameter optimasi berisi tentang penjelasan teori yang digunakan. seperti sistem distribusi radial, deviasi tegangan, rekonfigurasi jaringan, kapasitor, *distributed generation* (DG), dan *Genetic Algorithm* (GA)

3. BAB 3

Perancangan dan pemodelan optimasi berisi tentang proses dalam melakukan optimasi rekonfigurasi, kapasitor dan DG untuk meminimalkan deviasi tegangan menggunakan metode *genetic algorithm* (GA) yang diujikan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.

4. BAB 4

Simulasi dan analisa berisi tentang simulasi yang dilakukan dan analisa hasil simulasi.

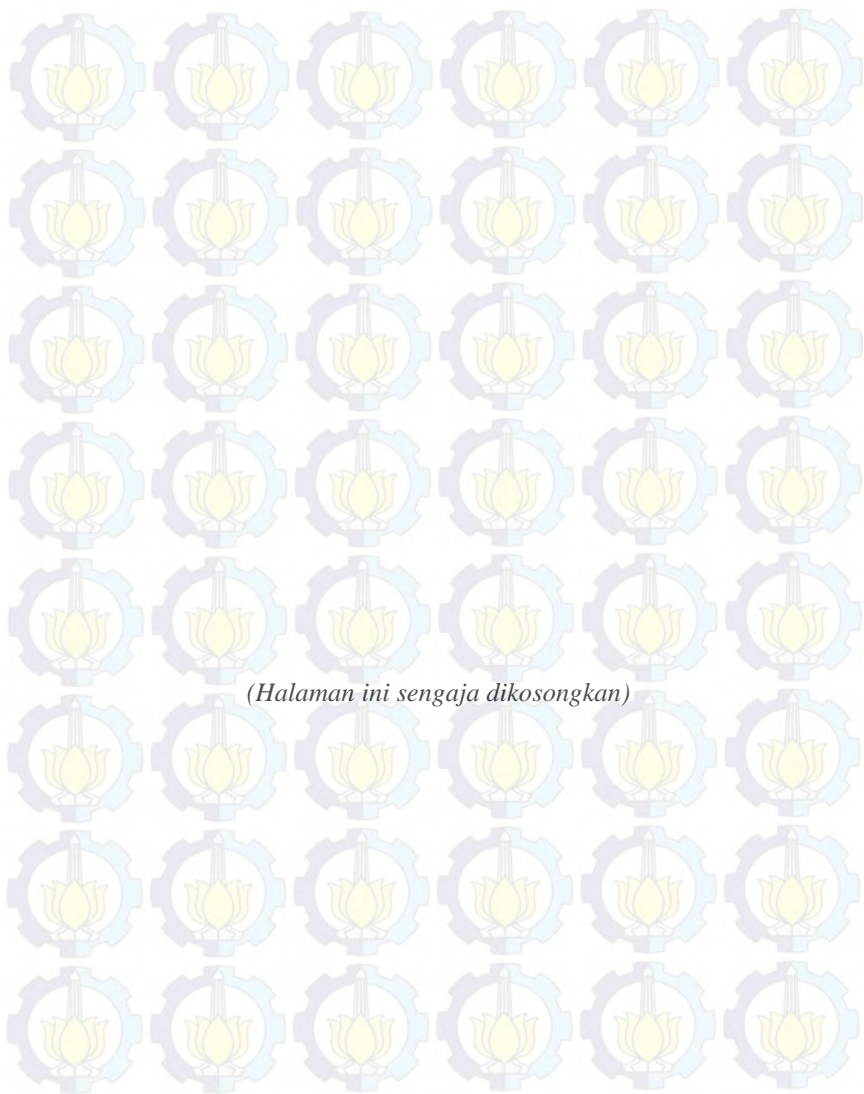
5. BAB 5

Kesimpulan berisi tentang hasil penelitian, pembahasan dan saran-saran.

1.7 Relevansi dan Manfaat

Relevansi atau manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui bagaimana cara untuk melakukan kombinasi rekonfigurasi, penempatan kapasitor dan DG untuk meminimalkan deviasi tegangan.
2. Mendapatkan referensi awal untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

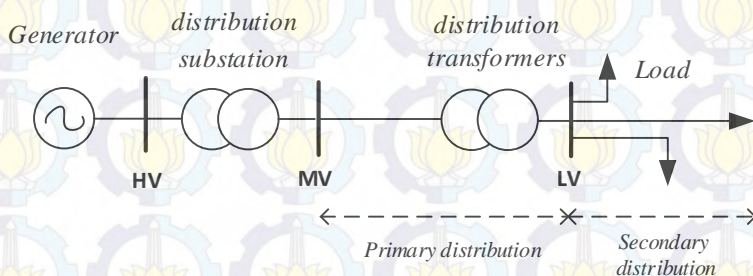
SISTEM DISTRIBUSI, DEVIASI TEGANGAN DAN PARAMETER OPTIMASI

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi memiliki fungsi yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk (*distribution substation*) ke pusat-pusat beban hingga ke pelanggan seperti pada gambar 2.1. Penyaluran tenaga listrik di dalam sistem distribusi diklasifikasikan kedalam 2 bagian berdasarkan level tegangan kerjanya, yaitu :

- a. Sistem distribusi primer.
- b. Sistem distribusi sekunder.

Sistem distribusi primer (*primary distribution systems*) menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk (*distribution substation*) ke gardu distribusi (*distribution transformers*) yang memiliki level tegangan kerja 6 kV sampai 20 kV sehingga juga sering disebut dengan sistem distribusi tegangan menengah. Sedangkan sistem distribusi sekunder (*secondary distribution systems*) menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi (*distribution transformers*) ke pelanggan. Level tegangan kerjanya adalah 220/380 V sehingga juga sering disebut sistem distribusi tegangan rendah [3].



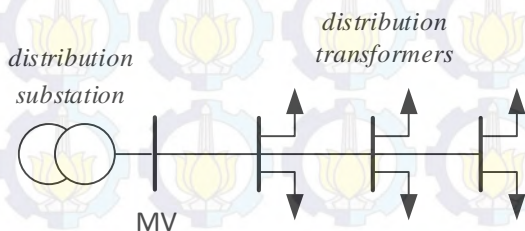
Gambar 2.1 Sistem distribusi tenaga listrik

Sistem distribusi primer dan sekunder menggunakan saluran udara, kabel udara atau kabel tanah sesuai dengan keadaan geografis dan keandalan yang diinginkan. Untuk menyalurkan tenaga listrik di dalam sistem distribusi, terdapat beberapa topologi jaringan, yaitu :

- Jaringan distribusi sistem radial.
- Jaringan distribusi sistem loop/ring.
- Jaringan distribusi sistem interkoneksi.
- Jaringan distribusi sistem spindle.

1.1.1 Jaringan Distribusi Sistem Radial

Jaringan distribusi sistem radial ditandai dengan adanya satu jalur pengiriman tenaga listrik mulai dari sumber gardu induk ke pelanggan. Sistem distribusi radial terdiri dari satu atau lebih trafo distribusi dan memiliki cabang-cabang menuju beban. Jaringan ini adalah topologi jaringan paling sederhana dan paling banyak digunakan seperti pada gambar 2.2.

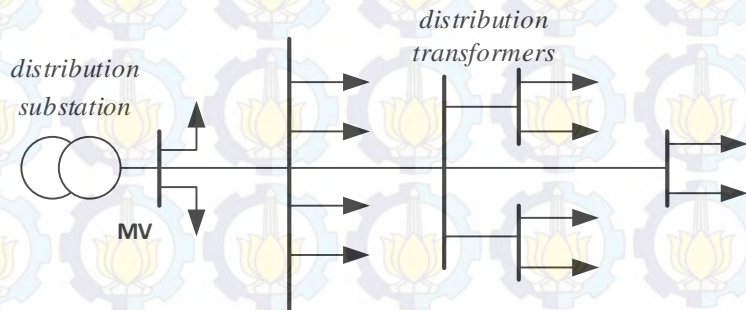


Gambar 2.2 Jaringan distribusi sistem radial

Kelebihan jaringan sistem radial secara umum adalah bentuknya yang sederhana dan biaya investasi yang relative murah. Sedangkan kelemahannya adalah kualitas pelayanan dayanya relative jelek yang disebabkan rugi daya dan drop tegangan cenderung besar. Kemudian kontinuitas penyaluran daya yang kurang handal. Untuk melokalisir gangguan, pada jaringan distribusi sistem radial ini menggunakan pengaman berupa CB, *sectionalizer*, *recloser* atau alat pemutus beban lainnya. Jaringan distribusi sistem radial ini memiliki beberapa modifikasi , yaitu radial tipe pohon, radial dengan *tie switch*, radial dengan pusat beban dan radial dengan pembagian phase.

a. Jaringan radial tipe pohon

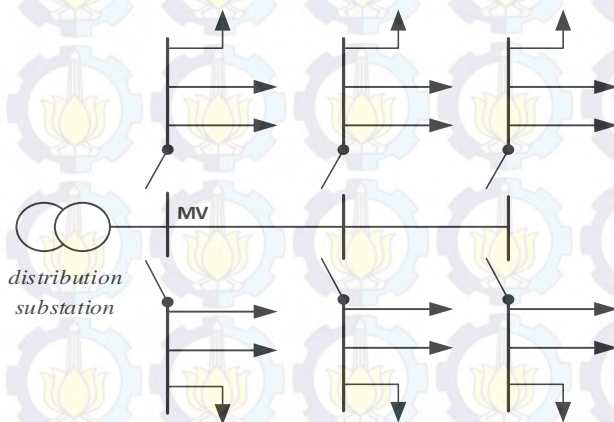
Jaringan dengan satu saluran utama kemudian dicabangkan sesuai dengan kebutuhan. Cabang ini dapat memiliki cabang lagi (anak cabang) seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jaringan radial tipe pohon

b. Jaringan radial dengan *tie switch*

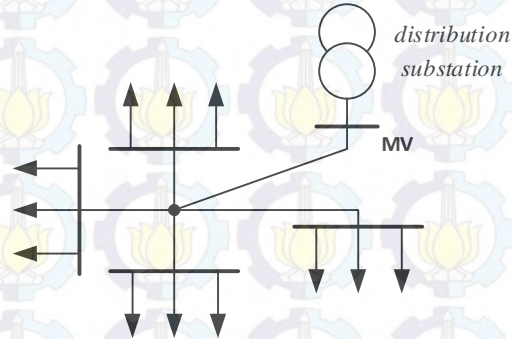
Jaringan ini memiliki *tie switch* pemisah untuk melakukan perbaikan atau pengalihan beban jika terjadi gangguan seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Jaringan radial dengan *tie switch*

c. Jaringan radial dengan pusat beban

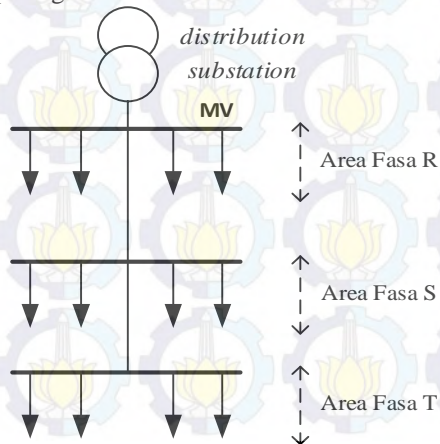
Jaringan ini menggunakan penyulang utama yang disebut *express feeder* yang langsung menuju titik pusat beban dan dicabangkan atau disebar menggunakan *back feeder* secara radial seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Jaringan radial dengan pusat beban

d. Jaringan radial dengan pembagian phase

Jaringan ini bertugas melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk ini akan mengakibatkan adanya ketidakseimbangan pada tiap phase seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Jaringan radial dengan pembagian phase

2.2 Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan (*network reconfiguration*) merupakan salah satu teknik untuk meningkatkan kualitas tegangan pada jaringan distribusi. Rekonfigurasi merupakan proses perubahan topologi jaringan dengan cara menutup *tie switch* dan membuka *sectionalizing switch*. Teknik rekonfigurasi ulang jaringan ini merupakan cara yang paling murah dalam biaya untuk meningkatkan kualitas tegangan. Hal ini disebabkan dalam prosesnya tidak melakukan investasi, tetapi hanya menutup dan membuka *tie switch* dan *sectionalizing switch*.

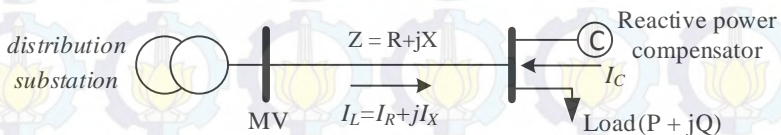
Rekonfigurasi jaringan meningkatkan operasi pada jaringan dan secara spesifik dapat meningkatkan kualitas tegangan dan menurunkan rugi daya. Sehingga pengoperasian sistem distribusi dapat dilakukan dengan biaya yang minimum[4].

Untuk mendapatkan atau menentukan status *tie switch* dan *sectionalizing switch* yang ditutup dan dibuka maka dapat menggunakan pencarian menggunakan metoda optimasi. Saat ini sudah banyak metoda yang digunakan untuk optimasi rekonfigurasi seperti PSO, BPSO, GA dan sebagainya.

2.3 Kapasitor

Berdasarkan referensi [5] salah satu cara untuk mengatur tegangan dan meningkatkan kualitas tegangan bus yaitu kapasitor yang dipasang paralel pada bus-bus distribusi sepanjang saluran atau pada gardu induk dan beban. Pada dasarnya kapasitor merupakan peralatan untuk menghasilkan daya reaktif pada titik mana kapasitor tersebut dipasang. Kapasitor dapat dihubungkan permanen, tetapi untuk pengaturan tegangan kapasitor dapat dilepas dari sistem sesuai perubahan beban.

Apabila kapasitor dipasang paralel dengan beban yang memiliki faktor daya yang tertinggal, kapasitor adalah sumber dari sebagian atau semua daya reaktif yang dibutuhkan beban. Dengan demikian, kapasitor mengurangi arus saluran yang mengalir menuju beban dan mengurangi tegangan jatuh pada saluran yang dapat diamati pada gambar 2.7 .



Gambar 2.7 Pemasangan kapasitor secara parallel

Drop tegangan sebelum dipasang kapasitor :

$$\Delta V = I_L \cdot Z \quad (2.1)$$

$$\Delta V = I_R \cdot R + jI_X \cdot X_L \quad (2.2)$$

Drop tegangan setelah dipasang kapasitor secara parallel :

$$\Delta V = I_R \cdot R + jI_X \cdot X_L - jI_C \cdot X_L \quad (2.3)$$

Dimana I_L adalah arus saluran, Z adalah impedansi, I_C adalah arus dari kapasitor dan ΔV adalah jatuh tegangan.

Secara umum fungsi kapasitor pada sistem tenaga adalah :

- Meningkatkan kemampuan penyaluran daya pada jaringan transmisi dan distribusi
- Meningkatkan kualitas tegangan pada sistem distribusi.
- Mengurangi rugi-rugi pada sistem distribusi.
- Meningkatkan kemampuan pembangkitan generator.

2.4 Distributed Generation (DG)

Distributed Generation (DG) adalah pembangkitan listrik yang letaknya dekat dengan titik konsumsi. *Distributed Generation* berpotensi digunakan pada sistem tenaga listrik untuk meningkatkan kehandalan sistem baik secara langsung. Sebagai contoh misalnya, DG dapat digunakan secara langsung untuk mendukung level tegangan lokal dan menghindari adanya pemadaman. Penggunaan DG sangat menguntungkan untuk meningkatkan level tegangan dan mengurangi rugi-rugi. Gambar 2.8 merupakan *smart grid* yang menggunakan DG.



Gambar 2.8 *Distributed Generation* (DG) pada *smart grid*

Distributed generation (DG) memiliki beberapa jenis seperti *micro hidro*, *photovoltaic generation*, *wind generation*, mesin *diesel* dan *battery* yang terdiri dari beberapa modul. Pada umumnya penggunaan jenis DG tergantung dari keadaan lingkungan (*geografis*) yang akan dipasang DG. *Distributed generation* (DG) dapat diklasifikasikan atau dikelompokkan berdasarkan kapasitas pembangkitan dan teknologi pembangkitan yang digunakan. Pada tabel 2.1 dan 2.2 dapat diamati klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkitan dan teknologi pembangkitan yang digunakan.

Tabel 2.1 Klasifikasi *distributed generation* (DG) berdasarkan kapasitas pembangkitan

Jenis DG	Kapasitas Pembangkitan
Micro DG (DG Mikro)	1 Watt – 5Kw
Small DG (DG Kecil)	5kW – 5MW
Medium DG (DG sedang)	5MW – 50 MW
Large DG (DG Besar)	50MW – 300 MW

Tabel 2.2 Klasifikasi *distributed generation* (DG) berdasarkan teknologi pembangkitan

Teknologi DG	Kapasitas per Modul
<i>Fossil Fuel</i>	
<i>Combined Cycle Gas Turbine (CCGT)</i>	35 – 400 MW
<i>Internal combustion engines</i>	5 kW – 10 MW
<i>Combustion turbine</i>	1 – 250 MW
<i>Micro-Turbines</i>	35 kW – 1 MW
<i>Renewable Resources</i>	
<i>Small hydro</i>	1 – 100 MW
<i>Micro hydro</i>	25 kW – 1 MW
<i>Wind turbine</i>	200 Watt – 3 MW
<i>Photovoltaic arrays</i>	20 Watt – 100 kW
<i>Solar thermal, central receiver</i>	1 – 10 MW
<i>Solar thermal, Lutz system</i>	10 – 80 MW
<i>Biomass, e.g. based on gasification</i>	100 kW – 20 MW

Tabel 2.2 Klasifikasi *distributed generation* (DG) berdasarkan teknologi pembangkitan (Lanjutan)

Teknologi DG	Kapasitas per Modul
<i>Fuel cells, phosacid</i>	200 kW – 2 MW
<i>Fuel cells, molten carbonate</i>	250 kW – 2 MW
<i>Fuel cells, proton exchange</i>	1 kW – 250 kW
<i>Fuel cells, solid oxide</i>	250 kW – 5 MW
<i>Geothermal</i>	5 – 100 MW
<i>Ocean energy</i>	100 kW – 1 MW
<i>Stirling engine</i>	2 – 10 kW
<i>Battery storage</i>	500 kW – 5 MW

2.5 Deviasi Tegangan

Deviasi tegangan adalah penyimpangan tegangan dengan adanya *over-voltage* atau *under-voltage* antara bus pertama (acuan) dengan bus lainnya dalam satu *feeder* [6,7]. Dengan meminimalkan deviasi tegangan dapat meningkatkan level atau kualitas tegangan menjadi lebih baik dan sekaligus meningkatkan kualitas daya pada sistem distribusi. Deviasi tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta E \quad T \quad = m \quad \frac{V_1 - V_k}{V_1} \quad \forall k = 1, 2, \dots, n \quad (2.4)$$

Dimana V_1 adalah nilai tegangan bus pertama (acuan), V_k dan k adalah nilai tegangan dari tegangan bus lain dan nomor bus.

2.6 Genetic Algorithm (GA)

Genetic Algorithm (GA) adalah optimasi dan teknik pencarian berdasarkan prinsip dari genetika dan seleksi natural. GA mengizinkan sebuah populasi melakukan perubahan pada individu (perubahan gen) untuk menyesuaikan diri sesuai aturan seleksi yang bertujuan untuk memaksimalkan *fitness*. Metode ini pertama dikembangkan oleh John Holland (1975) dan akhirnya dipopulerkan oleh salah satu muridnya David Goldberg (1989) [8].

Perbedaan metoda GA dengan metoda konvensional :

- GA memanipulasi kode-kode-set parameter, bukan manipulasi nilai parameter tersebut.

- b. GA melakukan pencarian pada waktu tertentu di beberapa titik sekaligus (kombinatorial).
- c. GA menggunakan fungsi objektif sebagai referensi pencarian, tidak berdasarkan nilai turunan atau informasi lain.
- d. GA menggunakan aturan transisi probabilistik, bukan aturan deterministik.

Metoda *Genetic Algorithm* (GA) juga dapat diartikan sebagai algoritma yang memanfaatkan proses seleksi alamiah yang dikenal dengan proses evolusi. Dalam proses evolusi, individu secara terus-menerus mengalami perubahan gen untuk menyesuaikan dengan lingkungan hidupnya. Hanya Individu yang-individu yang kuat yang bertahan hidup.

Metoda *Genetic Algorithm* (GA) dapat membantu memecahkan permasalahan dalam sistem tenaga. Pengkodean di dalam GA secara umum dalam bentuk biner yang menjadi sebuah *string* (rangkaian) yang menyusun gen-gen pembentuk kromosom. Kemudian akan mencari solusi dan *fitness* terbaik sesuai dengan fungsi objektif yang digunakan. Parameter yang digunakan di dalam GA adalah *Generation* (jumlah maksimal generasi), *Popsiz*e (jumlah populasi), *probability crossover* dan *mutation*. Pembangkitkan secara acak dan kemudian akan dipilih melalui operasi Genetika (*selection*, *crossover*, *mutation*). Hasil dari operasi genetika tersebut akan dievaluasi sesuai dengan fungsi objektif yang digunakan sehingga didapatkan kromosom yang akan diikutkan proses perulangan. GA ini akan berhenti ketika sudah mencapai *Generation* yang ditentukan.

2.6.1 Komponen *Genetic Algorithm* (GA)

Pada metoda *Genetic Algorithm* (GA) terdapat beberapa komponen yang digunakan. Permasalahan atau pencarian solusi yang akan dipecahkan dimodelkan ke dalam komponen *Genetic Algorithm* (GA). Berikut beberapa komponen yang digunakan dalam metoda *Genetic Algorithm* (GA) :

- a. Gen

Gen adalah elemen terkecil dalam sistem makhluk hidup yang membawa sebuah nilai di dalam individu. Biasanya gen pada *Genetic Algorithm* (GA) berbentuk *biner*, *float* dan *string*.

- b. Kromosom

Kromosom adalah kumpulan dari gen-gen yang membentuk satu kesatuan .

c. Individu

Individu adalah kesatuan dari kromosom yang memiliki satu fitness

d. Populasi

Populasi adalah sekumpulan individu yang memiliki fitness masing-masing. Pada populasi inilah akan dipilih induk untuk dilakukan regenerasi atau perkawinan, sehingga setiap generasi akan terjadi pembaharuan (*update*) pada populasi.

e. Generasi

Generasi adalah jumlah keturunan dari proses seleksi alami. Proses ini dimulai dengan satu populasi hingga membentuk populasi baru dengan gen-gen yang berbeda-beda.

f. Nilai fitness

Nilai fitness adalah nilai dari fungsi objektif permasalahan dari setiap individu. Nilai ini akan digunakan sebagai pembandingan dalam pemilihan individu terbaik sebagai solusi paling optimal.

2.6.2 Parameter Genetic Algorithm(GA)

Pada metoda *Genetic Algorithm* (GA) digunakan beberapa parameter dalam melakukan optimasi. Parameter ini memiliki nilai yang akan mempengaruhi proses optimasi yang berhubungan dengan kecepatan pencarian solusi terbaik. Berikut Parameter yang digunakan dalam metoda *Genetic Algorithm* (GA) :

a. Probabilitas persilangan (*Probability of crossover* (PC))

PC adalah nilai kemungkinan dari terjadinya *crossover* pada saat perkawinan. Referensi [10] mengatakan nilai PC berkisar antara 0 sampai 1. Jika nilai PC semakin besar maka kemungkinan terjadinya *crossover* juga semakin besar dan sebaliknya. Kemungkinan 100% terjadinya *crossover* dapat dilakukan dengan memberikan nilai 1 pada parameter PC dan sebaliknya.

b. Probabilitas mutasi (*Probability of mutation* (PM))

PM adalah nilai kemungkinan dari terjadinya mutasi pada gen-gen pembentuk kromosom. Mutasi terjadi setelah *crossover* pada perkawinan. Referensi [10] mengatakan nilai PM memiliki nilai yang kecil seperti 0,05, 0.1 atau lainnya. Jika nilai PM semakin kecil maka kemungkinan terjadinya mutasi juga semakin kecil dan sebaliknya. Nilai PM ini pada umumnya berkisar antara 0 hingga 0,3.

c. *Popsizse* (ukuran populasi)

Poposeize adalah parameter GA yang berisi nilai jumlah individu di dalam populasi pada setiap generasi. Besarnya *popsizse* akan mempengaruhi pencarian solusi yang optimal. Hal ini dikarenakan populasi yang besar memiliki keberagaman jenis individunya.

d. *Maxgen* (jumlah generasi)

Maxgen adalah parameter GA yang berisi nilai jumlah generasi atau keturunan dalam melakukan optimasi. Parameter ini juga sebagai pembatas atau kriteria stop dalam pencarian. Maksudnya jika proses evolusi telah sampai pada nilai *Maxgen*, maka proses optimasi akan berhenti.

2.6.3 Proses Genetic Algorithm (GA)

2.6.3.1 Pembangkitan populasi awal

GA dimulai dengan pembangkitan populasi awal secara acak berupa matriks yang berisi angka nol dan satu. Untuk membangkitkan populasi awal dapat menggunakan :

$$\text{pop} = \text{round}(\text{rand}(N_{\text{pop}}, N_{\text{bits}}) ;$$

2.6.3.2 Pembentukan Generasi baru

Didalam pembentukan generasi baru pada GA terdapat beberapa tahapan, yaitu seleksi induk , *crossover* dan *mutasi*. Berikut penjelasan tahapan-tahapan tersebut .

1. Seleksi

Seleksi adalah pemilihan 2 kromosom dari populasi. Kromosom ini akan menghasilkan 2 anak (*offspring*) yang nantinya akan menggantikan posisi induknya pada populasi.

Macam macam seleksi :

a. *Pairing from top to bottom*

Memilih sepasang kromosom dengan cara mengambil sepasang kromosom mulai dari atas ke bawah. Seleksi ini menggunakan barisan ganjil dan genap. Maksudnya untuk ibu (induk 1) diambil dari barisan ganjil $ma=1,3,5,\dots$ dan untuk ayah (induk2) diambil dari barisan genap $pa=2,4,6,\dots$. Pendekatan seperti ini bukanlah sifat alami, tapi ini salah satu cara untuk pemula untuk mencoba.

b. *Random pairing*

Pendekatan ini menggunakan sifat acak (*random*). Maksudnya dalam *random pairing* akan memilih sepasang kromosom secara acak, yang berarti semua kromosom dalam populasi memiliki kesempatan untuk terpilih sebagai induk (*ma* dan *pa*).

c. *Rank Weighting*

Pemilihan induk menggunakan pendekatan ini dilakukan secara ranking, jadi setiap kromosom akan diranking berdasarkan nilai *fitness*.

d. *Roulette wheel*

Seleksi ini menggunakan prinsip permainan roda rolet. Setiap individu atau calon induk akan dibagi-bagi pada luasan roda rolet. Cara pembagiannya adalah dengan mempertimbangkan nilai *fitness* setiap individu. Jika *fitness* individu semakin baik, maka akan mendapatkan luasan yang lebih besar dari pada individu yang memiliki *fitness* lebih buruk.

Individu yang memiliki *fitness* lebih baik memiliki kemungkinan lebih besar terpilih daripada individu lainnya. Tetapi tidak menutup kemungkinan individu yang lebih buruk juga akan terpilih, karena angka yang digunakan adalah random, hanya saja individu yang memiliki *fitness* lebih baik memiliki luasan lebih besar.

2. Perkawinan Silang (*crossover*)

Crossover adalah operator genetika yang mana melakukan kombinasi dari dua kromosom (induk) untuk menghasilkan kromosom baru atau anak (*offspring*). Ide dari *crossover* itu sendiri adalah kromosom baru (*offspring*) mungkin lebih baik daripada kromosom induknya. *Crossover* akan terjadi selama proses evolusi dengan adanya probabilitas *crossover*. Maksudnya selama evolusi belum tentu selalu terjadi *crossover*. Dengan mengacu referensi [10] nilai PC berkisar antara 0 sampai 1.

Macam-macam *crossover* :

a. *One-point crossover*

Jenis *crossover* ini akan memilih satu titik kemudian mengkopy setiap gen sebelum titik pada induk 1 dan setiap gen setelah titik pada induk 2 seperti pada gambarr 2.9.

Induk 1	→	0	1	1	0	0	1	0	1
Induk 2	→	0	1	0	0	1	0	0	1

Setelah proses *crossover* maka akan terbentuk anak (*offspring*) dengan perubahan gen sebagai berikut :

Anak 1	→	0	1	1	0	1	0	0	1
Anak 2	→	0	1	0	0	0	1	0	1

Gambar 2.9 Crossover satu titik.

b. *Two-point crossover*

Jenis crossover ini akan memilih dua titik, kemudian melakukan pertukaran pada kedua kromosom (induk) untuk menghasilkan 2 anak (*offspring*) seperti pada gambar 2.10.

Induk 1	→	0	1	1	0	0	1	0	1
Induk 2	→	0	1	0	0	1	0	0	1

Setelah proses *crossover* maka akan terbentuk anak (*offspring*) dengan perubahan gen sebagai berikut :

Anak 1	→	0	1	0	0	1	0	0	1
Anak 2	→	0	1	1	0	0	1	0	1

Gambar 2.10 Crossover dua titik

3. Mutasi (*mutation*)

Mutasi adalah operator genetika yang menukar nilai salah satu gen pada kromosom anak (*offspring*) dengan nilai inversnya, yaitu nol menjadi satu atau satu menjadi nol. Sama dengan *crossover*, mutasi juga memiliki probabilitas sesuai dengan referensi [10] nilai PM memiliki nilai yang kecil.

Operator mutasi yang melakukan penukaran nilai (invers) pada gen yang terpilih seperti pada gambar 2.11.

Induk 1	→	0	1	1	0	0	1	0	1
Induk 2	→	0	1	0	0	1	0	0	1

Setelah proses *mutasi* maka akan terbentuk anak (*offspring*) dengan perubahan gen sebagai berikut :

Anak 1	→	0	1	0	0	0	1	0	1
Anak 2	→	0	1	0	0	1	1	0	1

Gambar 2.11 Mutasi dua titik

2.6.3.3 Evaluasi Individu

Setelah proses perkawinan silang (*crossover*) dan mutasi, maka *offspring* akan dievaluasi sehingga menghasilkan *fitness*. *Fitness offspring* 1 dan 2 dipilih yang terbaik sebagai *fitness* generasi ke *i*. Proses ini akan terus dilakukan (*looping*) hingga generasi yang telah ditentukan.

2.6.3.4 Elitism

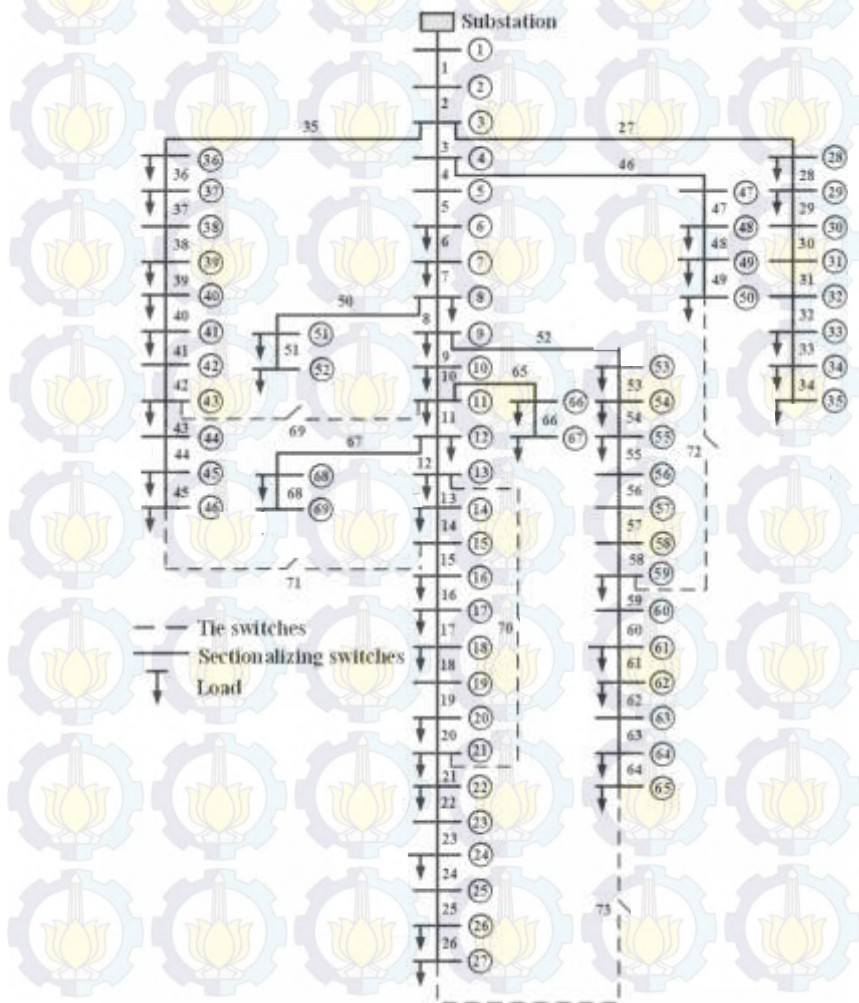
Elitism merupakan proses penyimpanan nilai *fitness* setiap generasi. Setiap generasi memiliki nilai *fitness* yang berbeda-beda. Tidak ada jaminan nilai *fitness* setiap generasi menjadi lebih baik, sehingga digunakanlah cara elitism untuk menyimpan dan *update* nilai *fitness* yang terbaik setiap generasi. *Fitness* yang akan disimpan atau di-*update* merupakan *fitness* yang terbaik dan memenuhi semua kriteria (*constraint*).

2.6.3.5 Pemilihan Individu Terbaik

Proses ini adalah proses terakhir dalam metoda *Genetic Algorithm* (GA). Pemilihan individu terbaik dapat diambil dari *fitness* terbaik yang telah disimpan dengan cara *elitism*. *Fitness* terbaik ini berupa nilai yang memiliki solusi dari permasalahan. Dari pemilihan individu ini didapatkan *fitness* terbaik dengan solusi terbaik.

BAB III PERANCANGAN DAN PEMODELAN OPTIMASI

3.1 Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus



Gambar 3.1 Sistem distribusi radial IEEE 69 bus

Pada tugas akhir ini menggunakan sistem distribusi radial IEEE 69 bus seperti pada gambar 3.1 dengan tegangan 12.66 kV. Pemilihan sistem ini dikarenakan pada sistem ini sudah terdapat *tie switch* dan *sectionalizing switch* dan jumlah bus yang besar. Sistem distribusi radial IEEE 69 Bus terdiri dari 69 bus dan 5 *tie switch* dengan beban daya aktif dan reaktifnya adalah 3,8 MW dan 2,69 MVar. Pada tabel 3.1, 3.2 dan 3.3 dapat diamati data *load bus*, *branch data*, *line data* dan *tie switch*.

Tabel 3.1 Data beban sistem distribusi IEEE 69 bus

Bus Number	P _L (kW)	Q _L (kVAr)	Bus Number	P _L (kW)	Q _L (kVAr)
6	2,60	2,20	37	26,00	18,55
7	40,40	30,00	39	24,00	17,00
8	75,00	54,00	40	24,00	17,00
9	30,00	22,00	41	1,20	1,00
10	28,00	19,00	43	6,00	4,30
11	145,00	104,00	45	39,22	26,30
12	145,00	104,00	46	39,22	26,30
13	8,00	5,00	48	79,00	56,40
14	8,00	5,50	49	384,70	274,50
16	45,50	30,00	50	384,70	274,50
17	60,00	35,00	51	40,50	28,30
18	60,00	35,00	52	3,60	2,70
20	1,00	0,60	53	4,35	3,50
21	114,00	81,00	54	26,40	19,00
22	5,00	3,50	55	24,00	17,20
24	28,00	20,00	59	100,00	72,00
26	14,00	10,00	61	1244,00	888,00
27	14,00	10,00	62	32,00	23,00
28	26,00	18,60	64	227,00	162,00
29	26,00	18,60	65	59,00	42,00
33	14,00	10,00	66	18,00	13,00
34	19,50	14,00	67	18,00	13,00
35	6,00	4,00	68	28,00	20,00
36	26,00	18,55	69	28,00	20,00

Tabel 3.2 *Line Data* sistem distribusi IEEE 69 bus

Branch Number	Sending end bus	Receiving end bus	R ()	X ()
1	1	2	0,0005	0,0012
2	2	3	0,0005	0,0012
3	3	4	0,0015	0,0036
4	4	5	0,0251	0,0294
5	5	6	0,3660	0,1864
6	6	7	0,3811	0,1941
7	7	8	0,0922	0,0470
8	8	9	0,0493	0,0251
9	9	10	0,8190	0,2707
10	10	11	0,1872	0,0619
11	11	12	0,7114	0,2351
12	12	13	1,0300	0,3400
13	13	14	1,0440	0,3450
14	14	15	1,0580	0,3496
15	15	16	0,1966	0,0650
16	16	17	0,3744	0,1238
17	17	18	0,0047	0,0016
18	18	19	0,3276	0,1083
19	19	20	0,2106	0,0690
20	20	21	0,3416	0,1129
21	21	22	0,0140	0,0046
22	22	23	0,1591	0,0526
23	23	24	0,3463	0,1145
24	24	25	0,7488	0,2475
25	25	26	0,3089	0,1021
26	26	27	0,1732	0,0572
27	3	28	0,0044	0,0108
28	28	29	0,0640	0,1565
29	29	30	0,3978	0,1315
30	30	31	0,0702	0,0232
31	31	32	0,3510	0,1160
32	32	33	0,8390	0,2816
33	33	34	1,7080	0,5646

Tabel 3.2 *Line data* sistem distribusi IEEE 69 bus (Lanjutan)

Branch Number	Sending end bus	Receiving end bus	R ()	X ()
33	33	34	1,7080	0,5646
34	34	35	1,4740	0,4873
35	3	36	0,0044	0,0108
36	36	37	0,0640	0,1565
37	37	38	0,1053	0,1230
38	38	39	0,0304	0,0355
39	39	40	0,0018	0,0021
40	40	41	0,7283	0,8509
41	41	42	0,3100	0,3623
42	42	43	0,0410	0,0478
43	43	44	0,0092	0,0116
44	44	45	0,1089	0,1373
45	45	46	0,0009	0,0012
46	4	47	0,0034	0,0084
47	47	48	0,0851	0,2083
48	48	49	0,2898	0,7091
49	49	50	0,0822	0,2011
50	8	51	0,0928	0,0473
51	51	52	0,3319	0,1114
52	9	53	0,1740	0,0886
53	53	54	0,2030	0,1034
54	54	55	0,2842	0,1447
55	55	56	0,2813	0,1433
56	56	57	1,5900	0,5337
57	57	58	0,7837	0,2630
58	58	59	0,3042	0,1006
59	59	60	0,3861	0,1172
60	60	61	0,5075	0,2585
61	61	62	0,0974	0,0496
62	62	63	0,1450	0,0738
63	63	64	0,7105	0,3619
64	64	65	1,0410	0,5302
65	11	66	0,2012	0,0611

Tabel 3.2 *Line data* sistem distribusi IEEE 69 bus (Lanjutan)

Branch Number	Sending end bus	Receiving end bus	R ()	X ()
66	66	67	0,0047	0,0014
67	12	68	0,7394	0,2444
68	68	69	0,0047	0,0016

Tabel 3.3 *Data tie switch*

Branch Number	Sending end bus	Receiving end bus	R ()	X ()
69	11	43	0,5000	0,5000
70	13	21	0,5000	0,5000
71	15	46	1,0000	0,5000
72	50	59	2,0000	1,0000
73	27	65	1,0000	0,5000

3.2 *Scenario Optimasi*

Dalam tugas akhir ini terdapat beberapa *scenario* yang dibuat untuk mengetahui pengaruh dari teknik optimasi terhadap deviasi tegangan. Berikut adalah *scenario* yang dilakukan :

1. *Base*

Scenario ini dilakukan untuk melihat keadaan deviasi tegangan pada sistem pada saat belum dilakukan teknik optimasi.

2. Rekonfigurasi

Scenario ini dilakukan untuk merubah topologi jaringan sistem dengan deviasi tegangan minimum. Perubahan dilakukan dengan menutup *tie switch* dan membuka *sectionalizing switch*.

3. Rekonfigurasi dan penempatan kapasitor secara berurutan

Scenario ini dilakukan dengan rekonfigurasi terlebih dahulu, kemudian hasil rekonfigurasi dipasang kapasitor secara parallel.

4. Rekonfigurasi dan penempatan kapasitor secara *simultan*

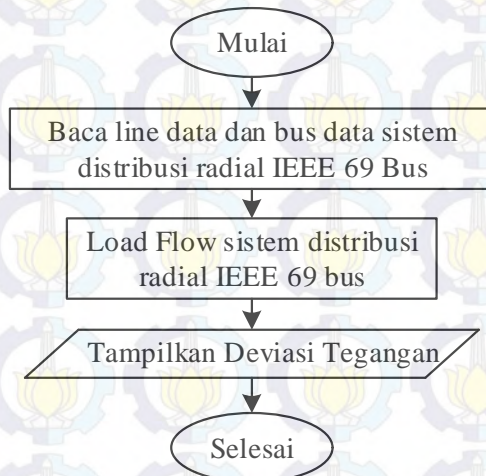
Scenario ini dilakukan secara bersamaan, maksudnya optimasi rekonfigurasi dan optimasi penempatan kapasitor dilakukan secara bersamaan.

5. Rekonfigurasi, penempatan kapasitor dan DG secara berurutan

Scenario ini dilakukan rekonfigurasi terlebih dahulu, kemudian hasil rekonfigurasi dipasang kapasitor secara parallel, kemudian hasil pemasangan kapasitor juga dipasang DG secara parallel.

6. Rekonfigurasi, penempatan kapasitor dan DG secara *simultan*
Scenario ini dilakukan secara bersamaan, maksudnya optimasi rekonfigurasi, optimasi penempatan kapasitor dan DG dilakukan secara bersamaan.

Untuk *scenario* 1 seperti pada gambar 3.2 hanya dilakukan *load flow* dan diambil nilai deviasi tegangannya saja, kemudian nilai ini akan digunakan sebagai pembanding dengan nilai sesudah optimasi. Berikut *flowchart scenario* 1 :



Gambar 3.2 *Flowchart scenario* 1

Untuk *scenario* 2-6 selalu menggunakan optimasi rekonfigurasi, hal ini dilakukan karena rekonfigurasi merupakan teknik optimasi untuk meminimasi deviasi tegangan dengan biaya paling murah. Kemudian proses penggabungan optimasi juga dilakukan secara berurutan dan *simultan*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan diantara kedua cara tersebut, sehingga dapat menentukan cara mana yang terbaik.

3.3 *Constraint* (Batasan)

Disetiap optimasi harus ada *constraint* atau batasan sebagai kriteria dalam pemilihan solusi dan *fitness*. Pada tugas akhir ini ada beberapa kriteria atau *constraint* yang harus dipenuhi :

a. *Constraint* tegangan

Merupakan batasan *under* dan *over voltage* pada setiap bus pada saat pemilihan individu terbaik, sehingga nantinya menghasilkan tegangan yang tidak melewati *constraint* tegangan tersebut. Sesuai referensi [12] *constrain* tegangan yang harus dipenuhi adalah :

$$0,95 p \leq V_i \leq 1,05 p \quad (3.1)$$

b. *Constraint* injek daya aktif (P (MW)) dari DG

Merupakan batasan maksimal daya aktif DG yang diinjekkan ke dalam sistem, sehingga nantinya menghasilkan *size* atau kapasitas DG yang tidak melewati *constraint* tersebut. Sesuai referensi [11] maksimum daya aktif yang diinjekkan adalah total daya aktif sistem.

$$\sum_{i=1}^{N_D} P_D \leq \sum_{j=1}^{N_L} P_L(j) \quad (3.2)$$

c. *Constraint* injek daya reaktif (Q (MVar)) dari kapasitor.

Merupakan batasan maksimal daya reaktif kapasitor yang diinjekkan ke dalam sistem, sehingga nantinya menghasilkan *size* atau kapasitas kapasitor yang tidak melewati *constraint* tersebut. Sesuai referensi [11] *constrain* injek daya reaktif yang harus dipenuhi adalah :

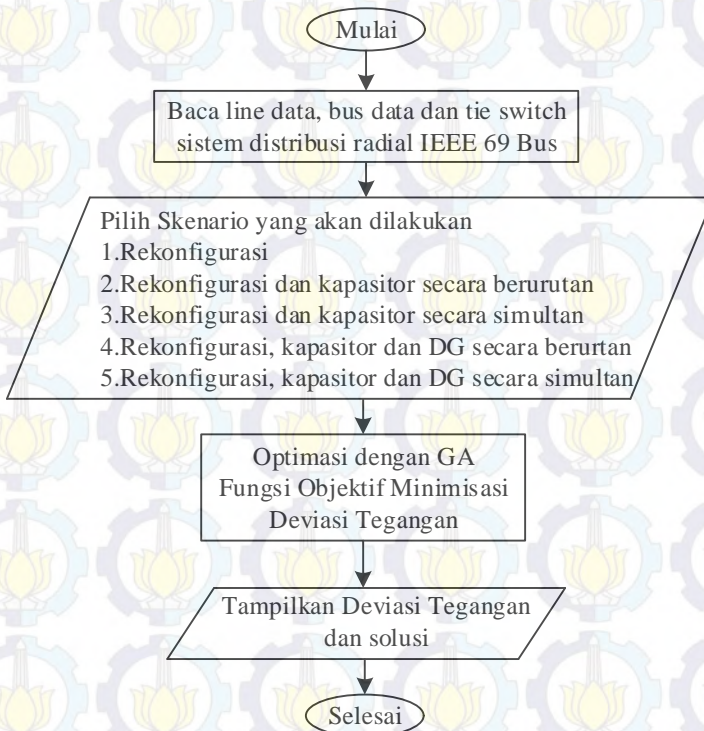
$$\sum_{i=1}^{N_C} Q_C(i) + \sum_{i=1}^{N_D} Q_D(i) \leq \sum_{j=1}^n Q_D(j) \quad (3.3)$$

3.4 Penerapan *Genetic Algorithm* (GA) pada Optimasi

Optimasi untuk meminimasi deviasi tegangan pada tugas akhir ini menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA). Pemilihan metoda ini dikarenakan metoda ini memiliki kelebihan dalam melakukan kombinasi, sehingga dapat digunakan untuk optimasi dari kombinasi rekonfigurasi, penempatan kapasitor dan DG dengan deviasi tegangan minimum. Kemudian untuk melakukan simulasi optimasi dilakukan pada *software* MATLAB, sehingga untuk setiap teknik optimasi dimodelkan ke dalam komponen dan parameter *Genetic Algorithm* (GA) pada *software* MATLAB. Berikut adalah pemodelan yang dilakukan :

- a. Pemodelan rekonfigurasi dengan *Genetic Algorithm* (GA)
- b. Pemodelan penempatan kapasitor dengan *Genetic Algorithm* (GA)
- c. Pemodelan penempatan DG dengan *Genetic Algorithm* (GA)
- d. Pemodelan rekonfigurasi dan penempatan kapasitor secara simultan dengan *Genetic Algorithm* (GA)
- e. Pemodelan rekonfigurasi, penempatan kapasitor dan DG secara simultan dengan *Genetic Algorithm* (GA)

Gambar 3.3 merupakan *flowchart* optimasi yang akan dilakukan (*scenario* 2-6) untuk meminimalkan deviasi tegangan pada sistem distribusi radial IEEE 69 Bus :



Gambar 3.3 *Flowchat* optimasi untuk minimisasi deviasi tegangan

3.4.1 Perancangan Komponen dan Parameter *Genetic Algorithm* (GA)

a. Gen

Dalam tugas akhir ini menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) jenis biner, sehingga parameter gen disini berupa angka biner nol dan satu. Setiap gen memiliki dan mengandung nilai tersendiri.

b. Kromosom

Kromosom merupakan kumpulan dari gen-gen yang membentuk individu, banyaknya gen di dalam kromosom tergantung dari optimasi yang dilakukan dan jumlah kapasitor dan DG yang akan dioptimasi.

c. Individu

Individu merupakan representasi dari sebuah kromosom. Pada tugas akhir ini individu membawa nilai *fitness* berupa deviasi tegangan minimum dan solusi berupa status tutup dan buka *tie switch* dan *sectionalizing*, penempatan kapasitor dan DG beserta kapasitas daya yang diinjekkkan.

d. Populasi

Dalam tugas akhir ini, dilakukan beberapa kali percobaan (*trial*) untuk mendapatkan berapa besar ukuran populasi (*popsiz*) yang dianggap sudah dapat menemukan solusi di setiap optimasi (*scenario* 2-6). Pada tugas akhir ini besarnya populasi adalah 50.

e. *Fitness*

Fitness merupakan hasil minimisasi dari fungsi objektif, dimana pada tugas akhir ini hanya ada satu fungsi objektif, yaitu minimisasi deviasi tegangan.

$$M \quad f(x) = m \quad \frac{V_1 - V_k}{V_1} \quad \forall k = 1, 2, \dots, n$$

f. Max Generasi

Max generasi merupakan jumlah generasi dari hasil perkawinan silang (*crossover*) atau keturunan yang ingin digunakan dalam satu kali proses evolusi. Pada tugas akhir ini dilakukan beberapa kali percobaan dimana pada generasi berapa tidak ada lagi perubahan atau tidak ada lagi invidu yang lebih baik. Kemudian baru

menentukan berapa max generasi. Untuk optimasi (*scenario 2-6*) digunakan max generasi 100.

g. *Crossover*

Dalam tugas akhir digunakan *crossover* satu titik.

h. *Mutation*

Dalam tugas akhir ini digunakan *mutation* jenis satu titik.

i. *Probability crossover* (PC)

Sesuai dengan referensi [10] kemungkinan terjadinya *crossover* adalah diantara 0 – 1 dan dipilih 0,8. Pada tugas akhir ini menggunakan PC 0,95. Pemilihan ini bertujuan untuk memberikan kemungkinan terbesar agar terjadinya *crossover*, sehingga setiap generasi mengalami perubahan dan ini akan mempercepat menemukan solusi dan proses *konvergensi*.

j. *Probability mutation* (PM)

Sesuai dengan referensi [10] kemungkinan terjadinya mutasi bernilai kecil dengan nilai 0,1. Pada tugas akhir ini menggunakan PC 0,05. Pemilihan ini bertujuan untuk memberikan kemungkinan terkecil agar terjadinya *mutation*.

3.4.2 Pemodelan Rekonfigurasi dengan GA

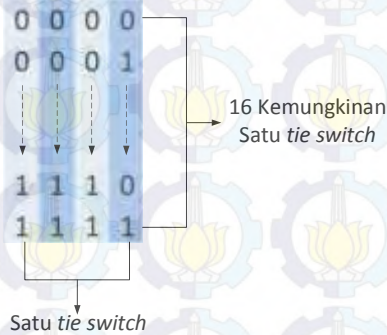
Tujuan optimasi rekonfigurasi jaringan dalam tugas akhir ini adalah untuk meminimalkan deviasi tegangan . Berikut adalah pemodelannya :

a. Pengkodean biner

Pengkodean biner untuk rekonfigurasi tergantung dari jumlah kemungkinan *sectionalizing switch* yang akan terbuka dalam satu loop *tie switch*. Pada sistem distribusi IEEE 69 Bus loop terbesar memiliki 14 kemungkinan *sectionalizing switch* akan terbuka, itu artinya ketika 1 *tie switch* yang tutup maka akan ada 14 kemungkinan *sectionalizing switch* akan terbuka. Sehingga jika 14 kemungkinan di konversi ke biner menjadi 2 pangkat 4 seperti pada gambar 3.4.

Dalam optimasi rekonfigurasi jaringan untuk minimisasi deviasi tegangan, juga ada kemungkinan *tie switch* tidak menutup sehingga *sectionalizing switch* tidak ada yang terbuka.

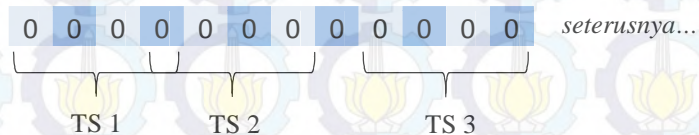
14 kemungkinan $\rightarrow 16$ (pembulatan) = 2^4



Gambar 3.4 Pengkodean biner rekonfigurasi

b. Nsbit (panjang biner)

Dari gambar 3.4 di atas, 1 *tie switch* membutuhkan 4 bit, sehingga untuk 5 *tie switch* dibutuhkan 20 bit seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Nsbit rekonfigurasi

3.4.3 Pemodelan Penempatan Kapasitor dengan GA

Tujuan optimasi penempatan kapasitor dalam tugas akhir ini adalah untuk meminimalkan deviasi tegangan. Berikut adalah pemodelannya :

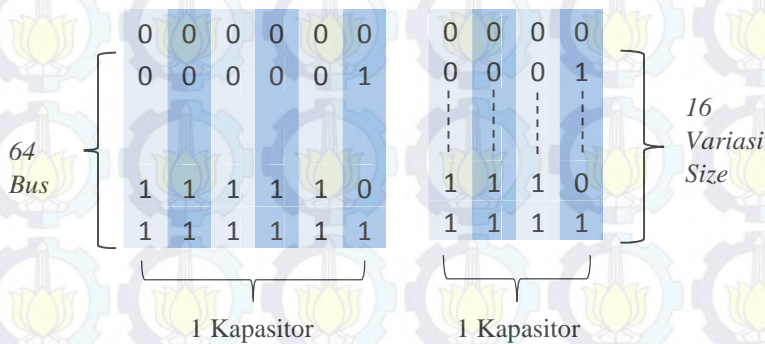
a. Pengkodean biner

Pengkodean biner untuk kapasitor, pertama untuk penempatan dan kedua untuk ukuran atau kapasitas. Untuk penempatan pengkodean biner tergantung dari jumlah bus sistem, karena

menggunakan sistem distribusi IEEE 69 bus, maka jumlah busnya adalah 69 bus. Kemudian untuk pengkodean ukuran tergantung dari berapa banyak variasi ukuran yang diinginkan. Gambar 3.6 adalah gambar pengkodean biner kapasitor.

Penempatan $\rightarrow 69 \text{ bus} = 64 \text{ (pembulatan)} = 2^6$

Ukuran \rightarrow diinginkan 16 variasi $= 2^4$

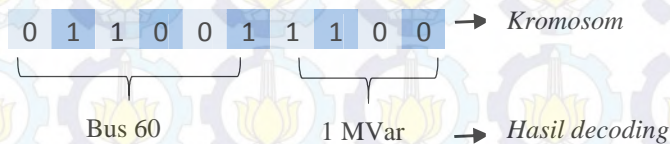


Gambar 3.6 Pengkodean biner kapasitor

b. Nsbit (Panjang biner)

Untuk Nsbit satu kapasitor membutuhkan 9 bit. Jika pemasangan kapasitor lebih dari satu, maka jumlah bit yang dibutuhkan disesuaikan dengan jumlah kapasitornya (9bit dikali jumlah kapasitor).

Gambar 3.7 merupakan contoh *decoding* dari penempatan dan ukuran kapasitor, dimana penempatan kapasitor pada bus 60 dan ukurannya 1 MVar.



Gambar 3.7 Contoh decoding kapasitor

3.4.4 Pemodelan Penempatan *Distributed Generation* (DG) dengan GA

Tujuan optimasi penempatan *Distributed Generation* (DG) dalam tugas akhir ini adalah untuk meminimalkan deviasi tegangan . Berikut adalah pemodelannya :

a. Pengkodean biner

Pengkodean biner untuk *distributed* (DG), pertama untuk penempatan dan kedua untuk kapasitas. Untuk penempatan pengkodean biner tergantung dari jumlah bus sistem, karena menggunakan sistem distribusi IEEE 69 bus, maka jumlah busnya adalah 69 bus. Kemudian untuk pengkodean ukuran kapasitas tergantung dari berapa banyak variasi ukuran yang diinginkan. Pada tugas akhir ini DG hanya dimodelkan menghasilkan daya aktif saja. Gambar 3.8 merupakan pengkodean biner *distributed generation* (DG) pada tugas akhir ini.

Penempatan $\rightarrow 69 \text{ bus} = 64 \text{ (pembulatan)} = 2^6$

Ukuran \rightarrow diinginkan 16 variasi $= 2^4$

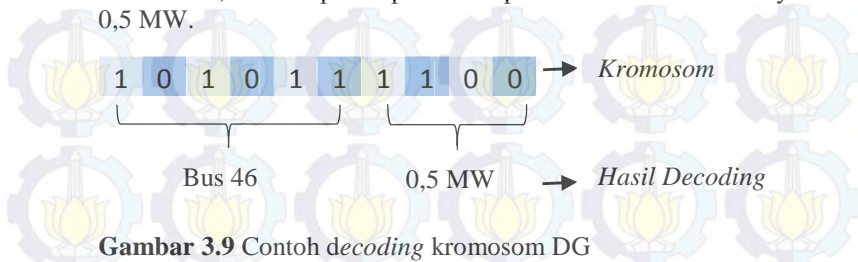


Gambar 3.8 Pengkodean biner DG

b. Nsbit (Panjang biner)

Untuk Nsbit satu DG membutuhkan 9 bit. Jika pemasangan kapasitor lebih dari satu, maka jumlah bit yang dibutuhkan disesuaikan dengan jumlah DG.

Gambar 3.9 merupakan contoh *decoding* dari penempatan dan ukuran DG, dimana penempatan DG pada bus 46 dan ukurannya 0,5 MW.

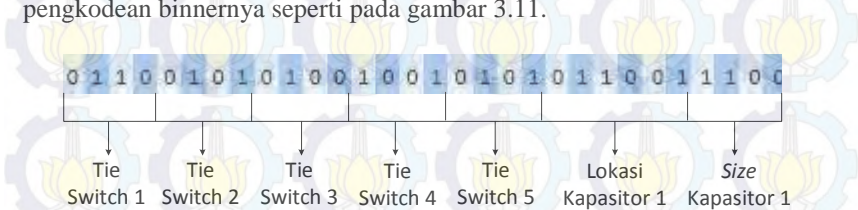


Gambar 3.9 Contoh *decoding* kromosom DG

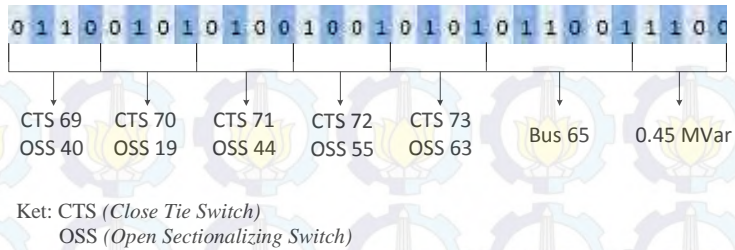
3.4.5 Pemodelan Simultan Rekonfigurasi dan Penempatan Kapasitor dengan GA

Tujuan optimasi rekonfigurasi dan penempatan kapasitor dalam tugas akhir ini adalah untuk meminimalkan deviasi tegangan . Untuk pemodelan simultan rekonfigurasi dan penempatan kapasitor, setiap kromosom atau individu memiliki gen-gen rekonfigurasi dan kapasitor. Maksudnya setiap individu memiliki solusi dan *fitness* untuk optimasi rekonfigurasi dan kapasitor. Untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan gambar 3.10. Pada gambar 3.10 terdapat gen-gen 5 *tie switch* dan 1 kapasitor (lokasi dan *size*).

Untuk pengkodean biner hampir sama dengan optimasi rekonfigurasi atau kapasitor saja, bedanya pada panjang Nsbit-nya. Pada proses optimasi ini (*scenario 4*) kromosom akan diartikan berdasarkan pengkodean binnernya seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.10 Optimasi rekonfigurasi dan kapasitor Secara Simultan

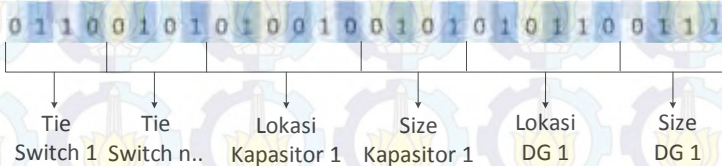


Gambar 3.11 Contoh *decoding* kromosom optimasi rekonfigurasi (5 *tie switch*) dan 1 kapasitor secara simultan

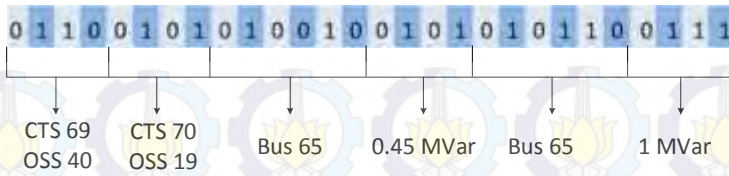
3.4.6 Pemodelan Simultan Rekonfigurasi , Penempatan Kapasitor dan DG dengan GA

Tujuan optimasi rekonfigurasi, penempatan kapasitor dan DG secara simultan dalam tugas akhir ini adalah untuk meminimalkan deviasi tegangan. Untuk pemodelannya hampir sama dengan pemodelan sebelumnya, yaitu setiap kromosom atau individu memiliki gen-gen rekonfigurasi, penempatan kapasitor dan DG. Maksudnya setiap individu memiliki solusi dan *fitness* untuk optimasi rekonfigurasi, kapasitor dan DG seperti pada gambar 3.12.

Untuk pengkodean biner juga hampir sama dengan optimasi rekonfigurasi, kapasitor saja atau DG saja, bedanya pada panjang Nsbit-nya. Pada proses optimasi ini (*scenario 6*) kromosom akan diartikan berdasarkan pengkodean binernya seperti pada gambar 3.13.



Gambar 3.12 Contoh kromosom optimasi rekonfigurasi, penempatan kapasitor dan *distributed generation* (DG) secara simultan



Ket: CTS (*Close Tie Switch*)
OSS (*Open Sectionalizing Switch*)

Gambar 3.13 Contoh *decoding* kromosom optimasi rekonfigurasi (*tie switch n*) , 1 kapasitor dan 1 DG secara simultan

3.5 Proses Optimasi Menggunakan *Genetic Algorithm* (GA)

Pada Bab sebelumnya sudah dibahas proses metoda *Genetic Algorithm* (GA) secara umum, pada sub-bab ini akan dibahas proses metoda *Genetic Algorithm* (GA) untuk meminimalkan deviasi tegangan dengan beberapa *scenario* yang diujikan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus (*scenario* 2-6).

- a. Pembacaan data dan parameter
Proses pertama ini adalah adalah pembacaan data sistem distribusi IEEE 69 bus berupa line data, bus data, tie switch. Kemudian parameter GA dan parameter lainnya.
- b. *Load flow* awal (*scenario* 1)
Hal ini dilakukan untuk mengetahui keadaan awal sistem sebelum dilakukan optimasi. Sehingga didapatkan deviasi tegangan awal, jumlah daya reaktif (MVar) dan daya aktif (MW) sistem. Kedua nilai ini akan digunakan sebagai nilai pembanding dan nilai batasan injek daya kapasitor dan DG.
- c. Membangkitkan Populasi
Ukuran populasi yang dibangkitkan sesuai dengan keinginan, misalnya 10, 20, 50 dan seterusnya. Populasi dibangkitkan secara acak yang mana bernilai angka binner nol dan satu. Kemudian Nsbit dari tiap kromosom tergantung dari *scenario* yang dilakukan.

d. *Decoding* Kromosom

Semua kromosom akan diuraikan (*parsing*) berdasarkan *scenario* yang dilakukan. Kemudian semua kromosom pada populasi akan diartikan (*decoding*) dan menghasilkan solusi awal.

e. Evolusi

Pada proses ini dimulailah proses penseleksian induk (*random selection*), kemudian *crossover*, mutasi sehingga menghasilkan anak baru (*offspring*). Proses evolusi ini akan terus terjadi (*perulangan*) hingga mencapai generasi yang telah ditentukan.

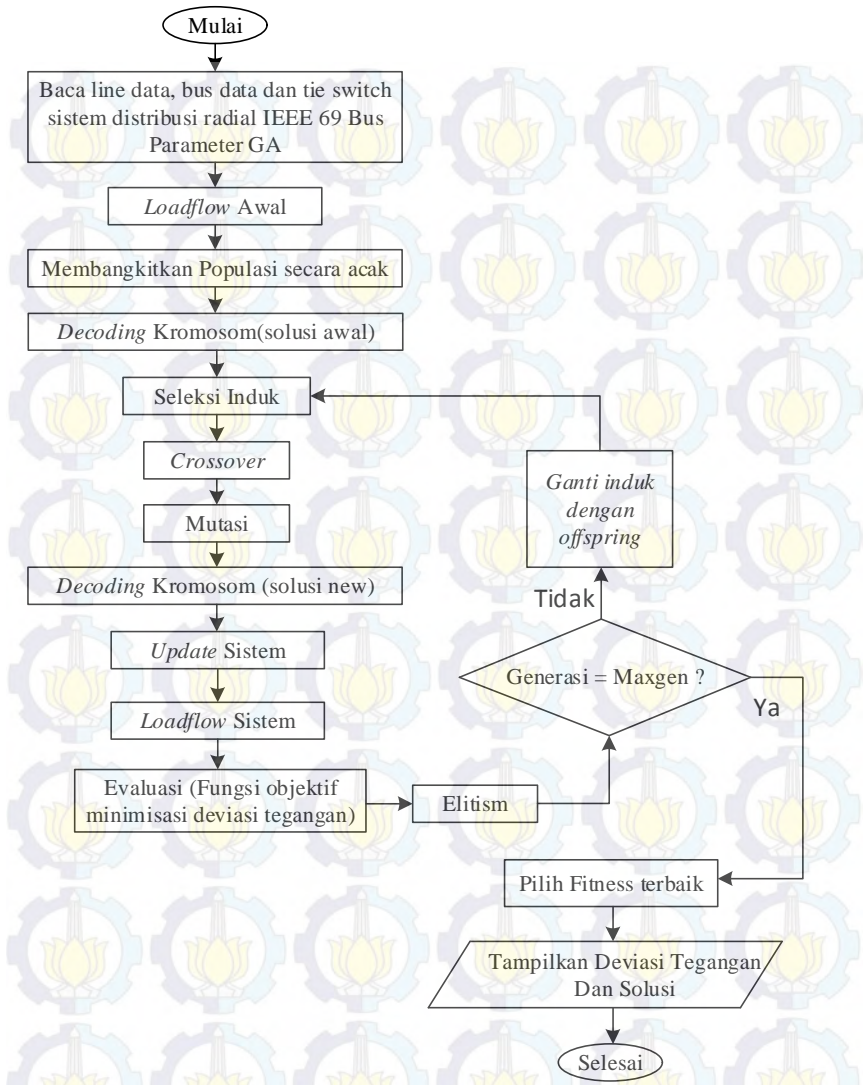
f. Evaluasi

Anak baru (*offspring*) yang mengalami perubahan gen-gen dari induknya akan diartikan (*decoding*) sehingga menghasilkan solusi. Solusi ini akan diterapkan pada sistem IEEE 69 bus (*update sistem*) kemudian dilakukan *load flow*. Dari hasil *load flow* didapatkan nilai deviasi tegangannya dan disimpan di dalam *fitness* i.

g. *Fitness* terbaik

Setelah melakukan evaluasi maka dilakukan pemilihan individu yang memiliki *fitness* terbaik berdasarkan batasan (*constraint*) yang ada. Sehingga individu yang akan dipilih nantinya merupakan individu yang sudah memenuhi kriteria atau *constraint* dan memiliki *fitness* terkecil. Di dalam individu ini sudah terdapat solusi dari *scenario* optimasi yang dilakukan.

Gambar 3.14 merupakan *flowchart* dari optimasi untuk meminimalkan deviasi tegangan yang dilakukan menggunakan metode *genetic algorithm* (GA).



Gambar3.14 Flowchart optimasi minimisasi deviasi tegangan dengan GA

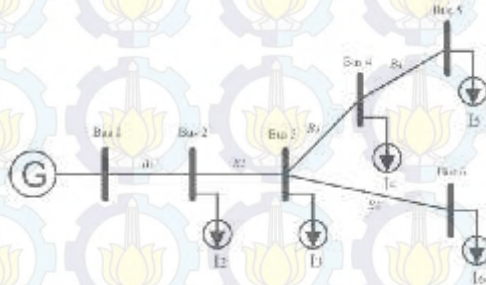
3.6. Aliran Daya

Analisa dan evaluasi aliran daya sangat penting untuk sistem distribusi. Untuk menganalisa dan evaluasi aliran daya tersebut digunakanlah sebuah metoda. Pada tugas akhir ini untuk aliran daya menggunakan metoda *Forward – Backward Sweep* yang merujuk pada referensi [9]. Analisa aliran daya untuk mendapatkan nilai tegangan setiap bus dan arus yang mengalir disepanjang saluran. Berikut tahapan dari metoda *Forward – Backward Sweep* :

1. Langkah pertama yang dilakukan adalah *backward sweep*, yaitu menghitung besar arus yang mengalir pada saluran di awali pembentukan matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*), kemudian besar arus saluran dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$I_k = \left(\frac{P_k + jQ_k}{V_k} \right)^* \quad (3.4)$$

Dimana I_k , P_k , Q_k , V_k adalah nilai arus, daya aktif, daya reaktif dan tegangan pada bus k



Gambar 3.15 Contoh single line diagram

Dari gambar 3.15 dapat dibentuk matrik BIBC. Angka 1 menyatakan hubungan antara arus dan saluran dan angka 0 menyatakan tidak ada hubungan antara keduanya

Matrik BIBC :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}$$

Angka 1 menyatakan hubungan antara arus dan saluran dan angka 0 menyatakan tidak ada hubungan antara keduanya.

Matrik BIBC dapat disederhanakan menjadi :

$$[B] = [BIBC][I] \quad (3.5)$$

2. Langkah kedua adalah *forward sweep* untuk menghitung nilai drop tegangan pada setiap bus yang di awali dengan pembentukan matrik BCBV (*Brunch Current to Brunch Voltage*). Berikut adalah contoh matrik BCBV yang menyatakan hubungan antara tegangan bus dan arus saluran:

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{24} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{24} & Z_{25} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{25} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 & Z_{26} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{bmatrix}$$

Dari matrik BCBV di atas dapat disederhanakan menjadi :

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (3.6)$$

Kemudian didapatkan persamaan untuk matrik ΔV , persamaan yang didapat adalah sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (3.7)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (3.8)$$

Dengan menggunakan matrik BIBC, BCBV dan ΔV dapat menghitung nilai tegangan pada setiap bus dengan persamaan :

$$|V_i| = |V_i| - |\Delta V| \quad (3.9)$$

BAB IV

SIMULASI DAN ANALISA

Pada tugas akhir ini simulasi optimasi untuk meminimalkan deviasi tegangan yang diujikan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus dengan beberapa *scenario* yang sudah dibahas pada bab sebelumnya. Metode yang digunakan untuk pencarian solusi dan *fitness* terbaik pada setiap *scenario*(2-6) adalah metode *Genetic Algorithm* (GA). Berikut adalah *scenario* yang dilakukan :

- a. *Scenario 1 Basic Plant*
- b. *Scenario 2* optimasi rekonfigurasi
- c. *Scenario 3* optimasi rekonfigurasi dan penempatan kapasitor secara berurutan.
- d. *Scenario 4* optimasi rekonfigurasi dan penempatan kapasitor secara ***simultan***.
- e. *Scenario 5* optimasi rekonfigurasi, penempatan kapasitor dan DG secara berurutan.
- f. *Scenario 6* optimasi rekonfigurasi, penempatan kapasitor dan DG secara ***simultan***.

Dari setiap *scenario* (2-6) yang dilakukan menghasilkan solusi dan *fitness* yang memiliki nilai deviasi tegangan minimum. Solusi dan *fitness* tersebut akan dianalisa dengan tujuan mengetahui pengaruh dari teknik optimasi terhadap deviasi tegangan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus. Sehingga akan menghasilkan kesimpulan dari optimasi yang dilakukan. Pada *scenario 1* hanya dilakukan *loadflow* saja sebagai data awal.

4.1 Scenario 1

Pada *scenario 1* hanya dilakukan *loadflow* sistem sebelum dilakukan optimasi (*scenario 2-6*). Tujuannya adalah mendapatkan nilai deviasi tegangan awal dan jumlah total daya aktif dan reaktif pada sistem. Nilai deviasi tegangan awal ini akan digunakan sebagai pembanding terhadap nilai deviasi tegangan setelah dilakukan optimasi (*scenario 2-6*). Jumlah total daya aktif dan reaktif ini digunakan sebagai batasan (*constraint*) untuk membatasi daya total yang diinjeksikan kapasitor dan DG. Berikut tabel tegangan dan deviasi tegangan sistem pada keadaan awal :

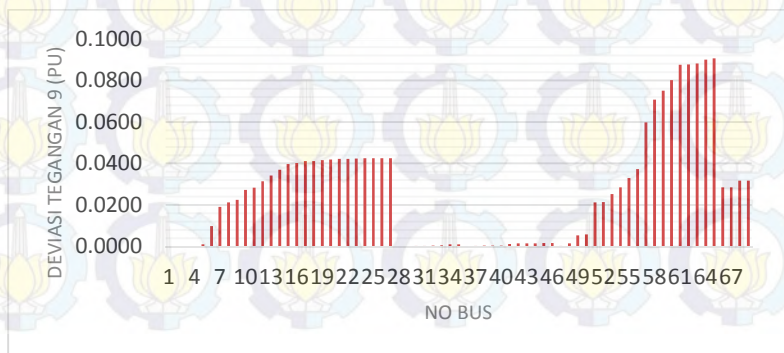
Tabel 4.1 Tegangan dan deviasi tegangan *scenario 1*

Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)
1	1,0000	0,0000	36	0,9999	0,0001
2	1,0000	0,0000	37	0,9997	0,0003
3	0,9999	0,0001	38	0,9996	0,0004
4	0,9998	0,0002	39	0,9995	0,0005
5	0,9990	0,0010	40	0,9995	0,0005
6	0,9901	0,0099	41	0,9988	0,0012
7	0,9809	0,0191	42	0,9986	0,0014
8	0,9787	0,0213	43	0,9985	0,0015
9	0,9776	0,0224	44	0,9985	0,0015
10	0,9727	0,0273	45	0,9984	0,0016
11	0,9716	0,0284	46	0,9984	0,0016
12	0,9685	0,0315	47	0,9998	0,0002
13	0,9657	0,0343	48	0,9985	0,0015
14	0,9630	0,0370	49	0,9947	0,0053
15	0,9602	0,0398	50	0,9942	0,0058
16	0,9597	0,0403	51	0,9787	0,0213
17	0,9589	0,0411	52	0,9787	0,0213
18	0,9589	0,0411	53	0,9748	0,0252
19	0,9584	0,0416	54	0,9716	0,0284
20	0,9582	0,0418	55	0,9671	0,0329
21	0,9577	0,0423	56	0,9627	0,0373
22	0,9577	0,0423	57	0,9402	0,0598
23	0,9577	0,0423	58	0,9292	0,0708
24	0,9575	0,0425	59	0,9249	0,0751
25	0,9574	0,0426	60	0,9199	0,0801
26	0,9574	0,0426	61	0,9125	0,0875

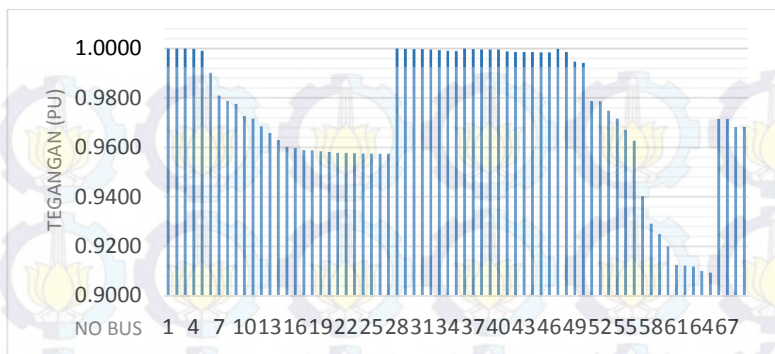
Tabel 4.1 Tegangan dan deviasi tegangan *scenario 1* (Lanjutan)

Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)
27	0,9574	0,0426	62	0,9122	0,0878
28	0,9999	0,0001	63	0,9118	0,0882
29	0,9999	0,0001	64	0,9099	0,0901
30	0,9997	0,0003	65	0,9093	0,0907
31	0,9997	0,0003	66	0,9715	0,0285
32	0,9996	0,0004	67	0,9715	0,0285
33	0,9994	0,0006	68	0,9682	0,0318
34	0,9990	0,0010	69	0,9682	0,0318
35	0,9990	0,0010	Deviasi Tegangan Minimum		0.09070 pu

Tabel 4.1 merupakan keadaan tegangan dan deviasi tegangan awal sistem sebelum dilakukan optimasi (*scenario 2-6*). Dari tabel 4.1 dapat diketahui bahwa penyimpangan atau deviasi tegangan minimum yang terjadi pada sistem ini adalah sebesar 0.0907 pu atau 9,07% dengan tegangan 0.9093 pu pada bus 65. Dari nilai ini dapat dianalisa bahwa nilai tegangan sistem berada diluar *range* atau batasan yang diijinkan yaitu $\pm 5\%$ dari tegangan acuan (bus 1). Berikut adalah gambar deviasi tegangan dan profil tegangan awal sistem distribusi radial IEEE 69 Bus.



Gambar 4.1 Deviasi tegangan awal sistem distribusi IEEE 69 bus



Gambar 4.2 Profil tegangan awal sistem distribusi IEEE 69 bus

Dari gambar 4.2 diketahui bahwa masih banyak tegangan bus yang mengalami *under voltage* di bawah range atau batasan yang diijinkan.

4.2 Scenario 2

Pada *scenario 2* ini dilakukan optimasi rekonfigurasi yaitu melakukan perubahan topologi jaringan dengan mengubah status tutup dan buka pada *tie switch* dan *sectionilizing switch* dengan mempertahankan sistem distribusi tetap dalam keadaan radial yang bertujuan untuk meminimalkan deviasi tegangan. Berikut adalah tabel tegangan dan deviasi tegangan *scenario 2* :

Tabel 4.2 Tegangan dan deviasi tegangan *scenario 2*

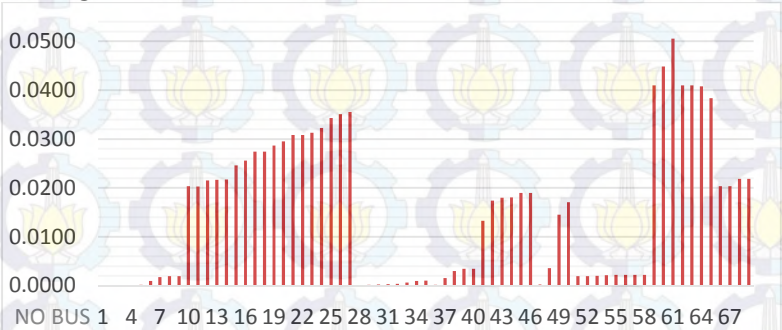
Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)
1	1,0000	0,0000	36	0,9998	0,0002
2	1,0000	0,0000	37	0,9985	0,0015
3	0,9999	0,0001	38	0,9970	0,0030
4	0,9999	0,0001	39	0,9966	0,0034
5	0,9998	0,0002	40	0,9965	0,0035
6	0,9990	0,0010	41	0,9867	0,0133
7	0,9982	0,0018	42	0,9826	0,0174
8	0,9981	0,0019	43	0,9820	0,0180
9	0,9980	0,0020	44	0,9820	0,0180
10	0,9797	0,0203	45	0,9810	0,0190
11	0,9797	0,0203	46	0,9810	0,0190

Tabel 4.2 Tegangan dan deviasi tegangan *scenario 2* (Lanjutan)

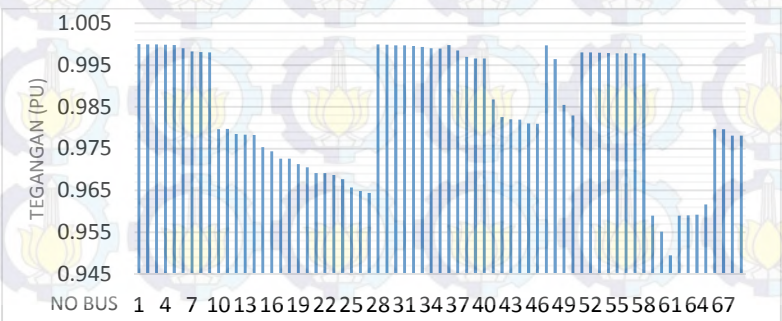
Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)
12	0,9785	0,0215	47	0,9997	0,0003
13	0,9784	0,0216	48	0,9964	0,0036
14	0,9783	0,0217	49	0,9855	0,0145
15	0,9754	0,0246	50	0,9830	0,0170
16	0,9744	0,0256	51	0,9980	0,0020
17	0,9726	0,0274	52	0,9980	0,0020
18	0,9726	0,0274	53	0,9980	0,0020
19	0,9713	0,0287	54	0,9979	0,0021
20	0,9705	0,0295	55	0,9978	0,0022
21	0,9692	0,0308	56	0,9978	0,0022
22	0,9692	0,0308	57	0,9978	0,0022
23	0,9687	0,0313	58	0,9978	0,0022
24	0,9677	0,0323	59	0,9590	0,0410
25	0,9657	0,0343	60	0,9551	0,0449
26	0,9649	0,0351	61	0,9495	0,0505
27	0,9644	0,0356	62	0,9590	0,0410
28	0,9999	0,0001	63	0,9590	0,0410
29	0,9999	0,0001	64	0,9592	0,0408
30	0,9997	0,0003	65	0,9616	0,0384
31	0,9997	0,0003	66	0,9796	0,0204
32	0,9996	0,0004	67	0,9796	0,0204
33	0,9994	0,0006	68	0,9782	0,0218
34	0,9990	0,0010	69	0,9782	0,0218
35	0,9990	0,0010	Deviasi Tegangan Minimum		0,05051 pu

Tabel 4.2 merupakan keadaan tegangan dan deviasi tegangan setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi (*scenario 2*). Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa penyimpangan atau deviasi tegangan minimum yang terjadi setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi adalah 0,05051 pu atau 5,051% dengan tegangan 0,9495 pu pada bus 61. Dari nilai ini dapat dianalisa bahwa setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi nilai deviasi tegangannya mengalami penurunan dari 0,0907 pu menjadi 0,0505 pu , tetapi tegangannya (0,9495 pu) masih berada di luar *range* atau batasan yang diijinkan.

Dari penurunan nilai penyimpangan atau deviasi tegangan setelah optimasi rekonfigurasi secara signifikan ini dapat disimpulkan bahwa optimasi rekonfigurasi memberikan pengaruh atau dampak besar pada deviasi tegangan sistem distribusi radial IEEE 69 bus. Berikut adalah gambar deviasi tegangan dan profil tegangan setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi sistem distribusi radial IEEE 69 Bus.



Gambar 4.3 Deviasi tegangan *scenario 2*



Gambar 4.4 Profil tegangan *scenario 2*

Simulasi optimasi menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) ini menghasilkan solusi dan *fitness* terbaik. Solusi disini berupa status tutup dan buka pada *tie switch* dan *sectionilizing switch*, sedangkan *fitness* adalah nilai deviasi tegangan minimum. Berikut adalah tabel hasil pencarian simulasi *scenario 2* menggunakan GA. Untuk gambar topologi jaringan setelah optimasi rekonfigurasi dapat diamati pada lampiran 1.

Tabel 4.3 Solusi dan *fitness* terbaik *scenario 2* menggunakan GA

Optimasi Rekonfigurasi	Close Tie Switch	69,71,73,72
	Open Sectionilizing	9,14,61,58
	Deviasi Tegangan (pu)	0,0505
	Max Voltage (pu)	1
	Min Voltage (pu)	0,9495
	Bus Worst @	61

4.3 Scenario 3

Pada *scenario 3* ini dilakukan optimasi rekonfigurasi dan pemasangan kapasitor secara berurutan. *Scenario 3* ini merupakan kelanjutan dari *scenario 2*, hasil optimasi rekonfigurasi pada *scenario 2* ditambah dengan pemasangan kapasitor. Pemasangan kapasitor disini menggunakan metoda GA dengan tujuan meminimalkan deviasi tegangan sehingga didapatkan lokasi dan kapasitas daya reaktif yang diinjekkan . Berikut tabel tegangan dan deviasi tegangan sistem pada *scenario 3*:

Tabel 4.4 Tegangan dan deviasi tegangan *scenario 3*

Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)
1	1,0000	0,0000	36	0,9999	0,0001
2	1,0000	0,0000	37	0,9994	0,0006
3	1,0000	0,0000	38	0,9985	0,0015
4	1,0000	0,0000	39	0,9983	0,0017
5	0,9999	0,0001	40	0,9983	0,0017
6	0,9991	0,0009	41	0,9929	0,0071
7	0,9983	0,0017	42	0,9906	0,0094
8	0,9982	0,0018	43	0,9903	0,0097
9	0,9981	0,0019	44	0,9903	0,0097

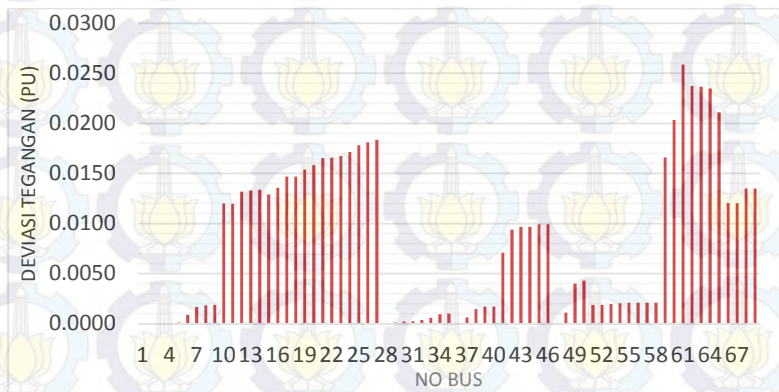
Tabel 4.4 Tegangan dan deviasi tegangan *scenario 3* (Lanjutan)

Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)
10	0,9880	0,0120	45	0,9901	0,0099
11	0,9880	0,0120	46	0,9901	0,0099
12	0,9868	0,0132	47	0,9999	0,0001
13	0,9867	0,0133	48	0,9989	0,0011
14	0,9866	0,0134	49	0,9960	0,0040
15	0,9871	0,0129	50	0,9957	0,0043
16	0,9864	0,0136	51	0,9981	0,0019
17	0,9853	0,0147	52	0,9981	0,0019
18	0,9853	0,0147	53	0,9980	0,0020
19	0,9846	0,0154	54	0,9980	0,0020
20	0,9842	0,0158	55	0,9979	0,0021
21	0,9835	0,0165	56	0,9979	0,0021
22	0,9834	0,0166	57	0,9979	0,0021
23	0,9833	0,0167	58	0,9979	0,0021
24	0,9829	0,0171	59	0,9834	0,0166
25	0,9822	0,0178	60	0,9796	0,0204
26	0,9819	0,0181	61	0,9741	0,0259
27	0,9816	0,0184	62	0,9763	0,0237
28	1,0000	0,0000	63	0,9763	0,0237
29	0,9999	0,0001	64	0,9765	0,0235
30	0,9998	0,0002	65	0,9789	0,0211
31	0,9998	0,0002	66	0,9880	0,0120
32	0,9996	0,0004	67	0,9880	0,0120
33	0,9994	0,0006	68	0,9865	0,0135
34	0,9991	0,0009	69	0,9865	0,0135
35	0,9990	0,0010	Deviasi Tegangan Minimum		0,02587 pu

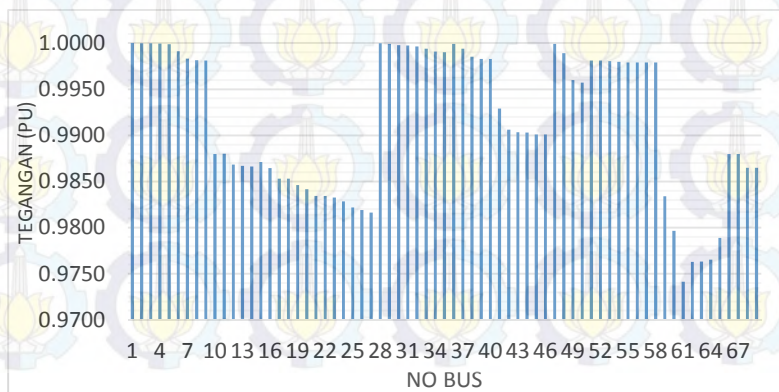
Tabel 4.4 merupakan keadaan tegangan dan deviasi tegangan setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi dan pemasangan kapasitor secara berurutan (*scenario 3*). Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa penyimpangan atau deviasi tegangan minimum yang terjadi setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi dan pemasangan kapasitor secara berurutan adalah 0,0259 pu atau 2,059% dengan tegangan 0,9741 pu pada bus 61. Dari nilai

ini dapat dianalisa bahwa setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi dan kapasitor secara berurutan nilai deviasi tegangannya mengalami penurunan dari *scenario 2* serta tegangan sistem sudah berada didalam *range* tegangan yang diijinkan.

Dari penurunan nilai penyimpangan atau deviasi tegangan setelah optimasi rekonfigurasi dan pemasangan kapasitor secara berurutan dapat disimpulkan bahwa optimasi *scenario 3* ini memberikan pengaruh pada deviasi tegangan sistem distribusi radial IEEE 69 bus. Berikut adalah gambar deviasi tegangan dan profil tegangan setelah dilakukan optimasi *scenario 3* pada sistem distribusi radial IEEE 69 Bus.



Gambar 4.5 Deviasi tegangan *scenario 3*



Gambar 4.6 Profil tegangan *scenario 3*

Dari gambar 4.6 dapat diketahui bahwa tegangan sistem tidak mengalami *over voltage* dan semua tegangan berada pada range yang diijinkan.

Simulasi menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) pada *scenario 3* ini menghasilkan solusi dan *fitness* terbaik. Solusi disini berupa status tutup dan buka pada *tie switch* dan *sectionilizing switch*, serta penempatan dan kapasitas kapasitor. Sedangkan *fitness* adalah nilai deviasi tegangan minimum. Berikut adalah tabel hasil pencarian simulasi *scenario 3* menggunakan GA. Untuk gambar topologi jaringan setelah optimasi *scenario 3* dapat diamati pada lampiran 2.

Tabel 4.5 Solusi dan *fitness* terbaik *scenario 3* menggunakan GA

Rekonfigurasi	Open Tie Switch	69,71,73,72
	Close Sectionilizing	9,14,61,58
Kapasitor	Candidate Bus @	27, 26, 59
	Kapasitas (MVar)	(0,48) (0,338) (1,76)
	Deviasi Tegangan (pu)	0,0259
	Max Voltage (pu)	1
	Min Voltage (pu)	0,974
	Bus Worst @	61

4.4 Scenario 4

Pada *scenario 4* ini dilakukan optimasi rekonfigurasi dan pemasangan kapasitor secara simultan. *Scenario 4* ini hampir sama dengan *scenario 3*, bedanya terletak pada cara optimasinya yaitu secara berurutan (*scenario3*) dan simultan (*scenario 4*). Simultan disini maksudnya adalah optimasi rekonfigurasi dan pemasangan kapasitor dilakukan secara bersamaan. Berikut tabel tegangan dan deviasi tegangan sistem pada *scenario 4* :

Tabel 4.6 Tegangan dan deviasi tegangan *scenario 4*

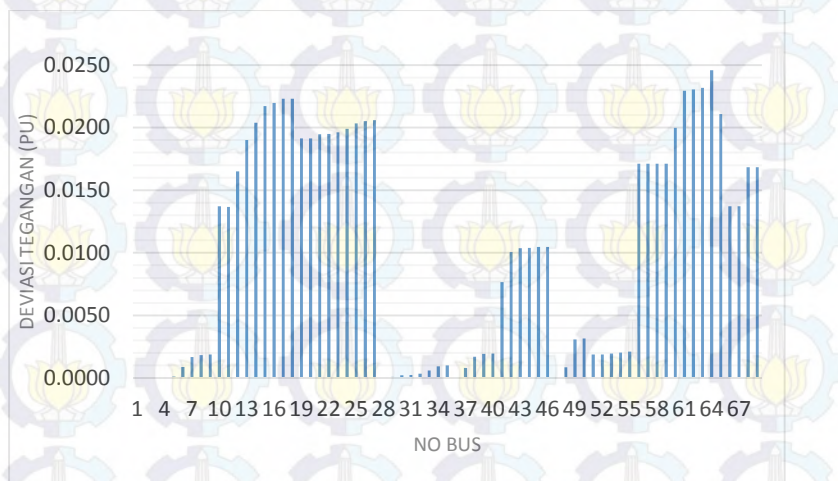
Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)
1	1,0000	0,0000	36	0,9999	0,0001
2	1,0000	0,0000	37	0,9992	0,0008
3	1,0000	0,0000	38	0,9983	0,0017
4	1,0000	0,0000	39	0,9981	0,0019
5	0,9999	0,0001	40	0,9980	0,0020
6	0,9991	0,0009	41	0,9924	0,0076

Tabel 4.6 Tegangan dan deviasi tegangan *scenario 4* (Lanjutan)

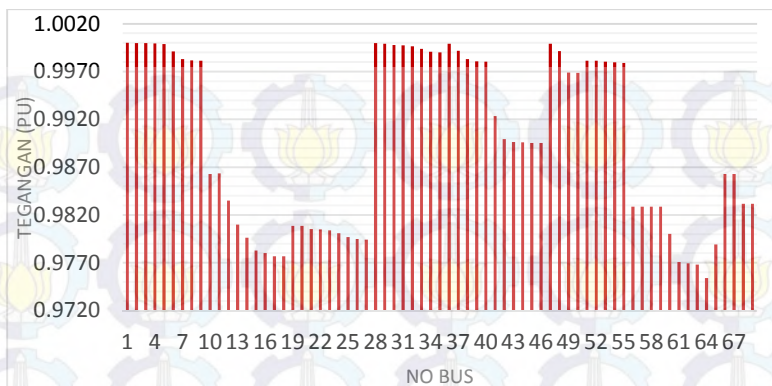
Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)
7	0,9983	0,0017	42	0,9899	0,0101
8	0,9982	0,0018	43	0,9896	0,0104
9	0,9981	0,0019	44	0,9896	0,0104
10	0,9863	0,0137	45	0,9895	0,0105
11	0,9863	0,0137	46	0,9895	0,0105
12	0,9835	0,0165	47	0,9999	0,0001
13	0,9810	0,0190	48	0,9991	0,0009
14	0,9796	0,0204	49	0,9969	0,0031
15	0,9783	0,0217	50	0,9968	0,0032
16	0,9780	0,0220	51	0,9981	0,0019
17	0,9777	0,0223	52	0,9981	0,0019
18	0,9777	0,0223	53	0,9980	0,0020
19	0,9809	0,0191	54	0,9980	0,0020
20	0,9809	0,0191	55	0,9979	0,0021
21	0,9805	0,0195	56	0,9829	0,0171
22	0,9805	0,0195	57	0,9829	0,0171
23	0,9804	0,0196	58	0,9829	0,0171
24	0,9801	0,0199	59	0,9829	0,0171
25	0,9797	0,0203	60	0,9800	0,0200
26	0,9795	0,0205	61	0,9771	0,0229
27	0,9794	0,0206	62	0,9770	0,0230
28	1,0000	0,0000	63	0,9768	0,0232
29	0,9999	0,0001	64	0,9754	0,0246
30	0,9998	0,0002	65	0,9789	0,0211
31	0,9998	0,0002	66	0,9863	0,0137
32	0,9996	0,0004	67	0,9863	0,0137
33	0,9994	0,0006	68	0,9832	0,0168
34	0,9991	0,0009	69	0,9832	0,0168
35	0,9990	0,0010	Deviasi Tegangan Minimum		0,02460

Tabel 4.6 merupakan keadaan tegangan dan deviasi tegangan setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi dan pemasangan kapasitor secara simultan (*scenario 4*). Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa penyimpangan atau deviasi tegangan minimum yang terjadi setelah dilakukan optimasi *scenario 4* adalah 0,0246 pu atau 2,46% dengan tegangan 0,9754 pu pada bus 64. Dari nilai ini dapat dianalisa bahwa setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi dan kapasitor secara simultan nilai deviasi tegangannya mengalami penurunan dari *scenario 2* (optimasi rekonfigurasi) serta tegangan sistem sudah berada didalam *range* tegangan yang diijinkan.

Dari penurunan nilai penyimpangan atau deviasi tegangan setelah optimasi rekonfigurasi dan pemasangan kapasitor secara simultan dapat disimpulkan bahwa optimasi *scenario 4* ini memberikan pengaruh pada deviasi tegangan sistem distribusi radial IEEE 69 bus. Perbedaan hasil optimasi secara berurutan dan simultan akan dibahas pada sub-bab selanjutnya. Berikut adalah gambar deviasi tegangan dan profil tegangan setelah dilakukan optimasi *scenario 5* pada sistem distribusi radial IEEE 69 Bus.



Gambar 4.7 Deviasi tegangan *scenario 4*



Gambar 4.8 Profil tegangan *scenario 4*

Dari gambar 4.8 dapat diketahui bahwa tegangan sistem tidak mengalami *over voltage* dan semua tegangan berada pada range yang diijinkan.

Simulasi menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) pada *scenario 4* ini menghasilkan solusi dan *fitness* terbaik. Solusi disini berupa status tutup dan buka pada *tie switch* dan *sectionilizing switch*, serta penempatan dan kapasitas kapasitor. Sedangkan *fitness* adalah nilai deviasi tegangan minimum. Berikut adalah tabel hasil pencarian simulasi *scenario 4* menggunakan GA. Untuk gambar topologi jaringan setelah optimasi *scenario 4* dapat diamati pada lampiran 3.

Tabel 4.7 Solusi dan *fitness* terbaik *scenario 4* menggunakan GA

Rekonfigurasi	Close Tie Switch	69,70,73,72
	Open Sectionilizing S	9,18,64,55
Kapasitor	Candidate Bus @	21, 61, 63
	Kapasitas (MVar)	(0,338) (1,911) (0,338)
	Deviasi Tegangan (pu)	0,0246
	Max Voltage (pu)	1
	Min Voltage (pu)	0,9754
	Bus Worst @	64

4.5 Scenario 5

Pada *scenario 5* ini dilakukan optimasi rekonfigurasi, pemasangan kapasitor dan *distributed generation* (DG) secara berurutan. *Scenario 5* ini merupakan kelanjutan dari *scenario 3*, hasil optimasi pada *scenario 3* ditambah dengan pemasangan *distributed generation* (DG). Pemasangan *distributed generation* (DG) disini menggunakan metoda GA dengan tujuan meminimalkan deviasi tegangan sehingga didapatkan lokasi dan kapasitas daya aktif yang diinjektikan . Berikut tabel tegangan dan deviasi tegangan sistem pada *scenario 5* :

Tabel 4.8 Tegangan dan deviasi tegangan *scenario 5*

Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)
1	1,0000	0,0000	36	1,0000	0,0000
2	1,0000	0,0000	37	0,9997	0,0003
3	1,0000	0,0000	38	0,9993	0,0007
4	1,0000	0,0000	39	0,9991	0,0009
5	0,9999	0,0001	40	0,9991	0,0009
6	0,9991	0,0009	41	0,9966	0,0034
7	0,9983	0,0017	42	0,9956	0,0044
8	0,9982	0,0018	43	0,9955	0,0045
9	0,9981	0,0019	44	0,9955	0,0045
10	0,9937	0,0063	45	0,9955	0,0045
11	0,9937	0,0063	46	0,9955	0,0045
12	0,9925	0,0075	47	1,0000	0,0000
13	0,9924	0,0076	48	0,9995	0,0005
14	0,9923	0,0077	49	0,9984	0,0016
15	0,9953	0,0047	50	0,9987	0,0013
16	0,9952	0,0048	51	0,9981	0,0019
17	0,9951	0,0049	52	0,9981	0,0019
18	0,9951	0,0049	53	0,9981	0,0019
19	0,9953	0,0047	54	0,9980	0,0020
20	0,9954	0,0046	55	0,9979	0,0021
21	0,9957	0,0043	56	0,9979	0,0021
22	0,9957	0,0043	57	0,9979	0,0021
23	0,9959	0,0041	58	0,9979	0,0021
24	0,9965	0,0035	59	0,9983	0,0017
25	0,9978	0,0022	60	0,9969	0,0031

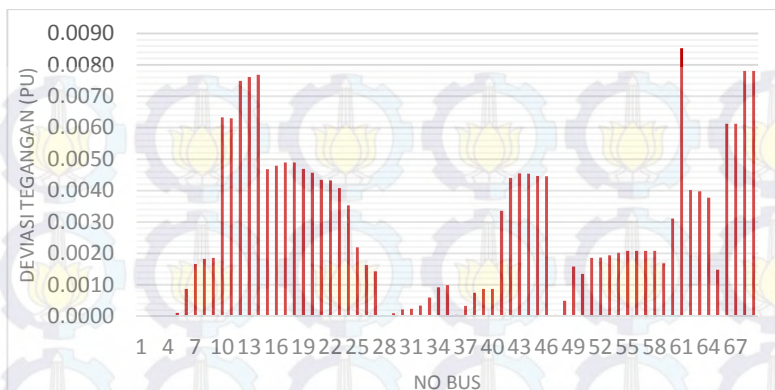
Tabel 4.8 Tegangan dan deviasi tegangan *scenario 5* (Lanjutan)

Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)
26	0,9984	0,0016	61	0,9915	0,0085
27	0,9986	0,0014	62	0,9960	0,0040
28	1,0000	0,0000	63	0,9960	0,0040
29	0,9999	0,0001	64	0,9962	0,0038
30	0,9998	0,0002	65	0,9985	0,0015
31	0,9998	0,0002	66	0,9939	0,0061
32	0,9997	0,0003	67	0,9939	0,0061
33	0,9994	0,0006	68	0,9922	0,0078
34	0,9991	0,0009	69	0,9922	0,0078
35	0,9990	0,0010	Deviasi Tegangan Minimum		0,00853

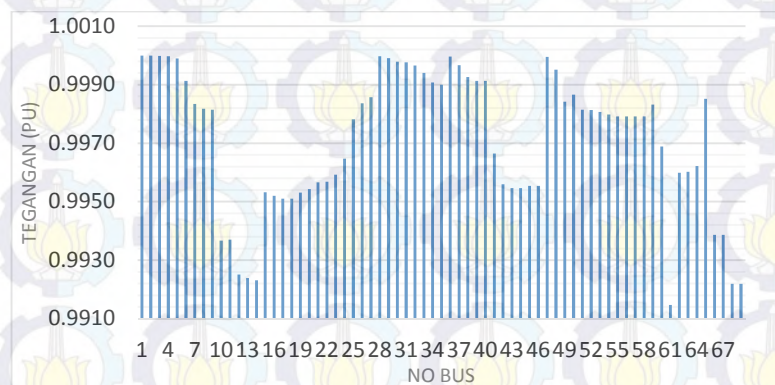
Tabel 4.8 merupakan keadaan tegangan dan deviasi tegangan setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi, pemasangan kapasitor dan DG secara berurutan (*scenario 5*). Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa penyimpangan atau deviasi tegangan minimum yang terjadi setelah dilakukan optimasi *scenario 5* adalah 0,00853 pu atau 0,085% dengan tegangan 0,9915 pu pada bus 61. Dari nilai ini dapat dianalisa bahwa setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi, kapasitor dan DG secara berurutan nilai deviasi tegangannya mengalami penurunan dari *scenario 3* serta tegangan sistem sudah berada di dalam *range* tegangan yang diijinkan.

Pada optimasi *scenario 3* tegangan sistem sudah berada pada *range* yang diijinkan, tetapi karena pada tugas akhir ini bertujuan untuk meminimalkan deviasi tegangan maka dilakukan optimasi *scenario 5*. Tujuannya agar semua tegangan bus sangat mendekati nilai 1 pu dan penyimpangan atau deviasi tegangannya sangat mendekati 0,000 pu atau 0%.

Dari penurunan nilai penyimpangan atau deviasi tegangan setelah optimasi rekonfigurasi, pemasangan kapasitor dan DG secara berurutan dapat disimpulkan bahwa optimasi *scenario 5* ini memberikan pengaruh besar pada deviasi tegangan sistem distribusi radial IEEE 69 bus. Berikut adalah gambar deviasi tegangan dan profil tegangan setelah dilakukan optimasi *scenario 4* pada sistem distribusi radial IEEE 69 Bus.



Gambar 4.9 Deviasi tegangan *scenario 5*



Gambar 4.10 Profil tegangan *scenario 5*

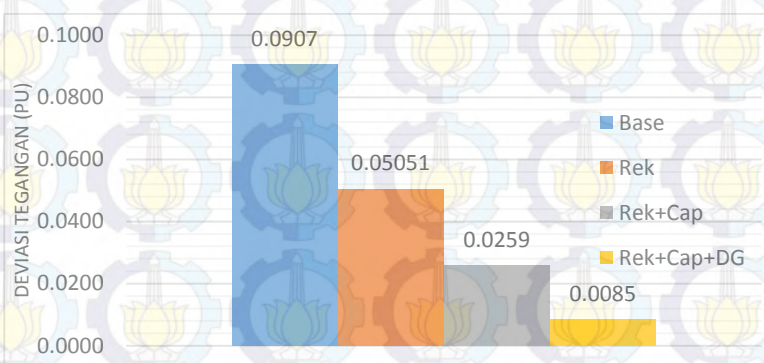
Dari gambar 4.10 dapat diketahui bahwa tegangan sistem tidak mengalami *over voltage* dan semua tegangan berada pada range yang diijinkan.

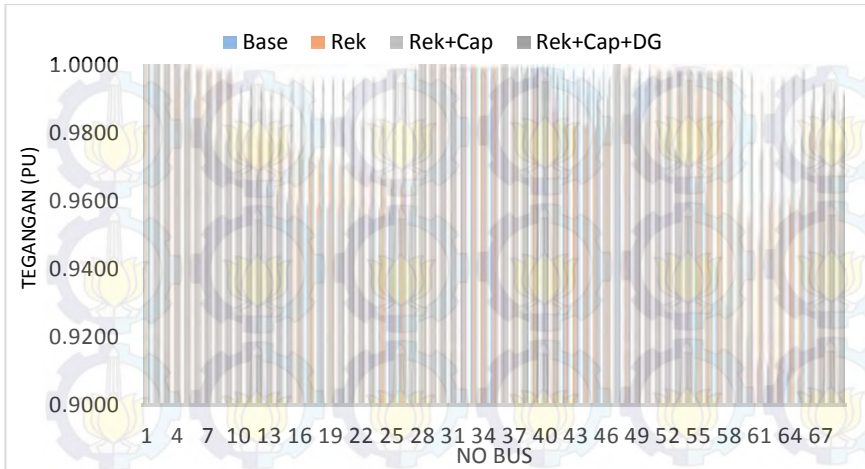
Simulasi menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) pada *scenario 5* ini menghasilkan solusi dan *fitness* terbaik. Solusi disini berupa status tutup dan buka pada *tie switch* dan *sectionilizing switch*, serta penempatan dan kapasitas kapasitor dan DG. Sedangkan *fitness* adalah nilai deviasi tegangan minimum. Berikut adalah tabel hasil pencarian simulasi *scenario 5* menggunakan GA. Untuk gambar topologi jaringan setelah optimasi *scenario 5* dapat diamati pada lampiran 4.

Tabel 4.9 Solusi dan *fitness* terbaik *scenario* 5 menggunakan GA

Rekonfigurasi	Close Tie Switch	69,71,73,72
	Open Sectionilizing S	9,14,61,58
Kapasitor	Candidate Bus @	27, 26, 59
	Kapasitas (MVar)	(0.48) (0.338) (1.76)
Distributed Generation	Candidate Bus @	66, 65, 60
	Kapasitas (MW)	(0,172) (0.425) (0.93)
	Deviasi Tegangan (pu)	0,00853
	Max Voltage (pu)	1
	Min Voltage (pu)	0,9915
	Bus Worst @	61

Pada gambar 4.11 ditampilkan perbandingan deviasi tegangan minimum dari optimasi *scenario* 1,2,3,5 (optimasi berurutan). Penurunan deviasi tegangan paling signifikan terjadi pada saat optimasi rekonfigurasi namun belum mencapai nilai paling minimal, kemudian dilanjutkan dengan *scenario* 3 dan 5 dan mendapatkan hasil paling minimal dengan deviasi tegangan minimum 0,00853 pu dan tegangan 0,9915 pu. Pada gambar 4.12 ditampilkan profil tegangan *scenario* 1,2,3,5 (optimasi berurutan). Dapat diamati bahwa pada *scenario* 1 tegangan berada di luar *range* yang diijinkan, kemudian *scenario* 2 sudah terjadi peningkatan namun masih di luar *range* atau batasan. Pada *scenario* 3 profil tegangan sudah dalam *range* yang diijinkan kemudian pada *scenario* 5 profil tegangan sangat mendekati nilai 1 pu.

**Gambar 4.11** Perbandingan deviasi tegangan minimum *scenario* 1,2,3,5 (berurutan)



Gambar 4.12 Perbandingan profil Tegangan minimum *Scenario 1,2,3,5*

4.6 *Scenario 6*

Pada *scenario 6* ini dilakukan optimasi rekonfigurasi, pemasangan kapasitor dan *distributed generation* (DG) secara simultan. *Scenario 6* ini hampir sama dengan *scenario 4*, bedanya terletak pada cara optimasinya yaitu secara berurutan (*scenario 4*) dan simultan (*scenario 6*). Simultan disini maksudnya adalah optimasi rekonfigurasi, kapasitor dan *distributed generation* (DG) dilakukan secara bersamaan . Berikut tabel tegangan dan deviasi tegangan sistem pada *scenario 6* :

Tabel 4.10 Tegangan dan deviasi tegangan *scenario 6*

Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)
1	1,0000	0,0000	36	1,0000	0,0000
2	1,0000	0,0000	37	0,9998	0,0002
3	1,0000	0,0000	38	0,9997	0,0003
4	1,0000	0,0000	39	0,9997	0,0003
5	0,9998	0,0002	40	0,9997	0,0003
6	0,9983	0,0017	41	0,9997	0,0003
7	0,9967	0,0033	42	0,9997	0,0003
8	0,9963	0,0037	43	0,9997	0,0003
9	0,9962	0,0038	44	0,9996	0,0004

Tabel 4.10 Tegangan dan deviasi tegangan *Scenario 6* (Lanjutan)

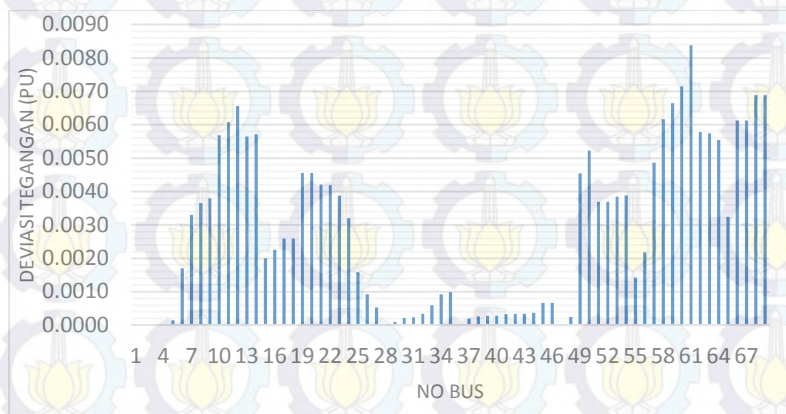
Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)	Bus	Tegangan (pu)	Deviasi Tegangan (pu)
10	0,9943	0,0057	45	0,9993	0,0007
11	0,9939	0,0061	46	0,9993	0,0007
12	0,9934	0,0066	47	1,0000	0,0000
13	0,9944	0,0056	48	0,9998	0,0002
14	0,9943	0,0057	49	0,9955	0,0045
15	0,9980	0,0020	50	0,9948	0,0052
16	0,9977	0,0023	51	0,9963	0,0037
17	0,9974	0,0026	52	0,9963	0,0037
18	0,9974	0,0026	53	0,9962	0,0038
19	0,9954	0,0046	54	0,9961	0,0039
20	0,9954	0,0046	55	0,9986	0,0014
21	0,9958	0,0042	56	0,9978	0,0022
22	0,9958	0,0042	57	0,9951	0,0049
23	0,9961	0,0039	58	0,9938	0,0062
24	0,9968	0,0032	59	0,9934	0,0066
25	0,9984	0,0016	60	0,9929	0,0071
26	0,9991	0,0009	61	0,9916	0,0084
27	0,9995	0,0005	62	0,9942	0,0058
28	1,0000	0,0000	63	0,9943	0,0057
29	0,9999	0,0001	64	0,9945	0,0055
30	0,9998	0,0002	65	0,9968	0,0032
31	0,9998	0,0002	66	0,9939	0,0061
32	0,9997	0,0003	67	0,9939	0,0061
33	0,9994	0,0006	68	0,9931	0,0069
34	0,9991	0,0009	69	0,9931	0,0069
35	0,9990	0,0010	Deviasi Tegangan Minimum		0,00838

Tabel 4.10 merupakan keadaan tegangan dan deviasi tegangan setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi, pemasangan kapasitor dan DG secara simultan (*scenario 6*). Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa penyimpangan atau deviasi tegangan minimum yang terjadi setelah dilakukan optimasi *scenario 6* adalah 0,00838 pu atau 0,838% dengan tegangan 0,9916 pu pada bus 61. Dari nilai ini dapat dianalisa bahwa

setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi, pemasangan kapasitor dan DG secara simultan nilai deviasi tegangannya mengalami penurunan dari *scenario* 4 serta tegangan sistem sudah berada didalam *range* tegangan yang diijinkan.

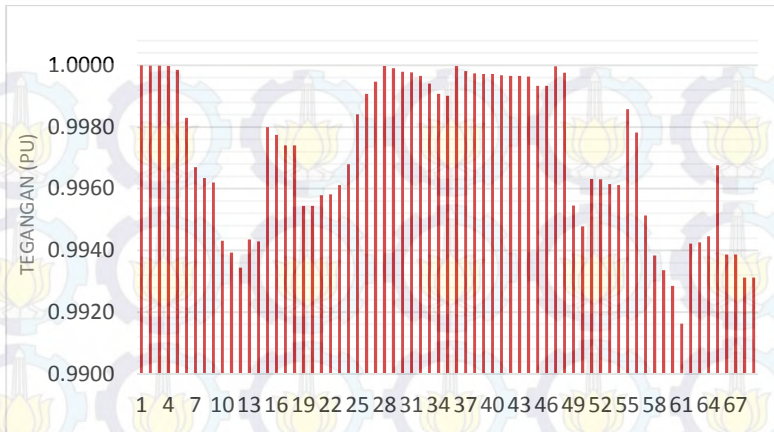
Sama halnya dengan optimasi *scenario* 5, pada optimasi *scenario* 5 tegangan sistem sudah berada pada *range* yang diijinkan, tetapi karena pada tugas akhir ini bertujuan untuk meminimalkan deviasi tegangan maka dilakukan optimasi *scenario* 6. Tujuannya agar semua tegangan bus sangat mendekati nilai 1 pu dan penyimpangan atau deviasi tegangannya sangat mendekati 0,000 pu atau 0%.

Dari penurunan nilai penyimpangan atau deviasi tegangan setelah optimasi rekonfigurasi, pemasangan kapasitor dan DG secara simultan dapat disimpulkan bahwa optimasi *scenario* 6 ini memberikan pengaruh paling besar pada deviasi tegangan sistem distribusi radial IEEE 69 bus. Perbedaan hasil optimasi secara berurutan dan simultan akan dibahas pada sub-bab selanjutnya. Berikut adalah gambar deviasi tegangan dan profil tegangan setelah dilakukan optimasi *scenario* 6 pada sistem distribusi radial IEEE 69 Bus.



Gambar 4.13 Deviasi tegangan *scenario* 6

Gambar 4.14 adalah gambar profil tegangan *scenario* 6. Dari gambar 4.14 dapat diketahui bahwa tegangan sistem tidak mengalami *over voltage* dan semua tegangan berada pada *range* yang diijinkan. Berikut gambar profil tegangan *scenario* 6 :



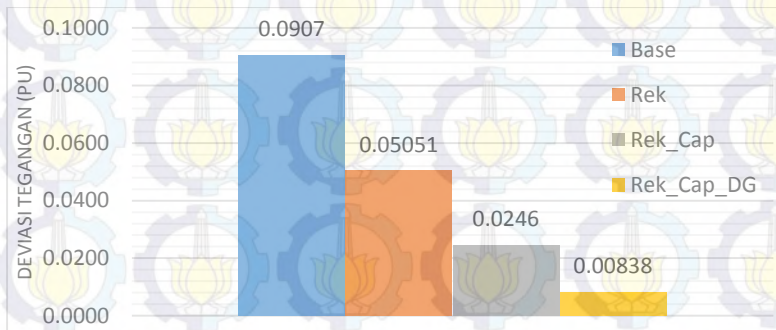
Gambar 4.14 Profil tegangan *scenario 6*

Simulasi menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) pada *scenario 6* ini menghasilkan solusi dan *fitness* terbaik. Solusi disini berupa status tutup dan buka pada *tie switch* dan *sectionilizing switch*, serta penempatan dan kapasitas kapasitor dan DG. Sedangkan *fitness* adalah nilai deviasi tegangan minimum. Berikut adalah tabel hasil pencarian simulasi *scenario 6* menggunakan GA. Untuk gambar topologi jaringan setelah optimasi *scenario 6* dapat diamati pada lampiran 5.

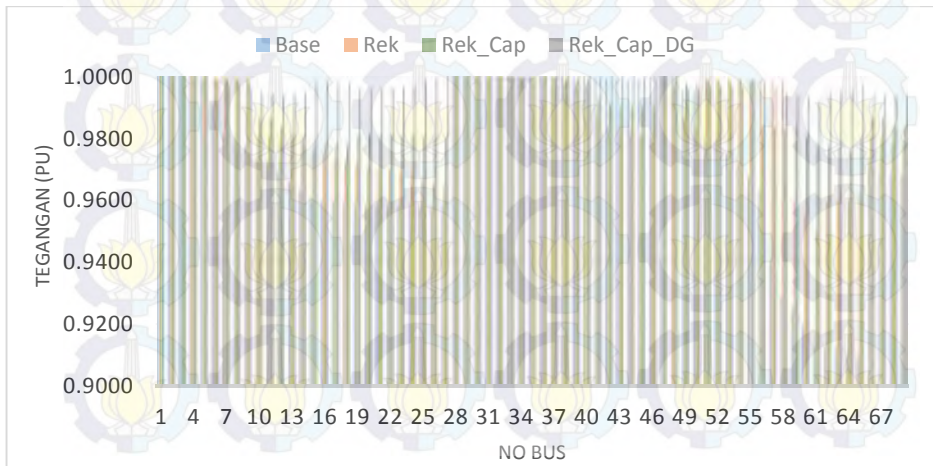
Tabel 4.11 Solusi dan *fitness* terbaik *scenario 6* menggunakan GA

Rekonfigurasi	Open Tie Switch	71,70,73,72
	Close Sectionilizing	14,18,61,54
Kapasitor	Candidate Bus @	27, 55, 48
	Kapasitas (MVar)	(0,624) (0,91) (0,91)
Distributed Generation	Candidate Bus @	61, 27, 43
	Kapasitas (MW)	(1,311) (0,552) (0,425)
	Deviasi Tegangan (pu)	0,00838
	Max Voltage (pu)	1
	Min Voltage (pu)	0,99161
	Bus Worst @	61

Pada gambar 4.15 menampilkan deviasi tegangan minimum *scenario* 1,2,4,6 (optimasi simultan). Sama halnya dengan *scenario* 1,2,3,5 (optimasi berurutan), penurunan deviasi tegangan terjadi pada *scenario* 2 tetapi belum mencapai hasil paling minimal. Kemudian diikuti dengan *scenario* 4 dan 6 yang mendapatkan hasil deviasi tegangan minimal yaitu 0,0838 pu. Dari hasil ini nilai deviasi tegangan paling minimal didapat pada *scenario* 6. Untuk perbedaan hasil optimasi secara berurutan dan simultan akan dibahas pada sub-bab selanjutnya.



Gambar 4.15 Perbandingan deviasi tegangan minimum *scenario* 1,2,4,6 (optimasi simultan)

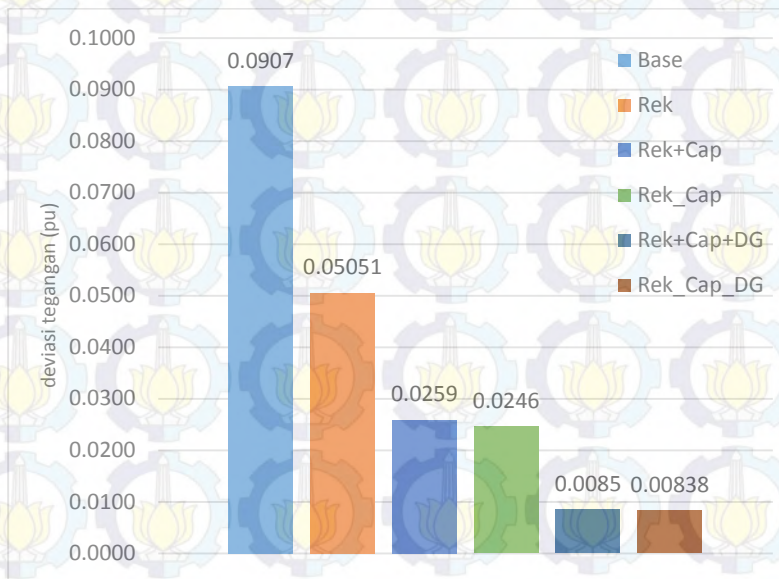


Gambar 4.16 Perbandingan profil tegangan minimum *scenario* 1,2,4,6

Gambar 4.16 menampilkan profil tegangan scenario 1,2,4,6 (optimasi simultan). Pada gambar 4.16 dapat diamati perbedaan setiap optimasi. Peningkatan profil tegangan dimulai dari optimasi 2, kemudian scenario 4 dan 6. Pada scenario 6, tegangan semua bus sangat mendekati nilai 1 pu. Dari gambar tersebut juga dapat diketahui profil tegangan paling baik didapat pada saat *scenario* 6. Berikut gambar profil tegangan scenario 1,2,4,6 (optimasi berurutan) :

4.7 Perbandingan Optimasi Berurutan dan Simultan

Simulasi optimasi secara berurutan dan simultan memiliki perbedaan pada hasil pencarian solusi dan *fitness* terbaik. Pada gambar 4.17 dapat diamati *fitness* yang dihasilkan optimasi secara simultan (*scenario* 4,6) lebih baik dari pada secara berurutan (*scenario* 3,5). Hal ini disebabkan karena pada optimasi secara simultan memiliki lebih banyak variasi kemungkinan penggabungan dari pada secara berurutan. Kemudian untuk perbandingan hasil pencarian solusi dan *fitness* terbaik menggunakan GA secara berurutan dan simultan dapat diamati pada tabel 4.12 dan 4.13.



Gambar 4.17 Perbandingan deviasi tegangan minimum *scenario* 1-6

Tabel 4.12 Perbandingan solusi dan *fitness* terbaik *scenario* 3 (berurutan) dan 4 (simultan) menggunakan GA

		Berurutan	Simultan
Rekon	Close Tie Switch	69,71,73,72	69,70,73,72
	Open Sectionilizing S	9,14,61,58	9,18,64,55
Kapasitor	Candidate Bus @	27, 26, 59	21, 61, 63
	Kapasitas (MVar)	0,48	0,338
		0,338	1,911
		1,76	0,338
	Deviasi Tegangan (pu)	0,0259	0,0246
	Max Voltage (pu)	1	1
	Min Voltage (pu)	0,9741	0,9754
	Bus Worst @	61	64

Tabel 4.13 Perbandingan solusi dan *fitness* terbaik *scenario* 5 (berurutan) dan 6 (simultan) menggunakan GA

		Berurutan	Simultan
Rekon	Close Tie Switch	69,71,73,72	71,70,73,72
	Open Sectionilizing S	9,14,61,58	14,18,61,54
Kapasitor	Candidate Bus @	27, 26, 59	27, 55, 48
	Kapasitas (MVar)	0,48	0,624
		0,338	0,91
		1,76	0,91
Distributed Generation	Candidate Bus @	66, 65, 60	61, 27, 43
	Kapasitas (MW)	0,172	1,311
		0,425	0,552
		0,93	0,425
	Deviasi Tegangan (pu)	0,00853	0,00838
	Max Voltage (pu)	1	1
	Min Voltage (pu)	0,9915	0,99161
	Bus Worst @	61	61

4.8 Validasi

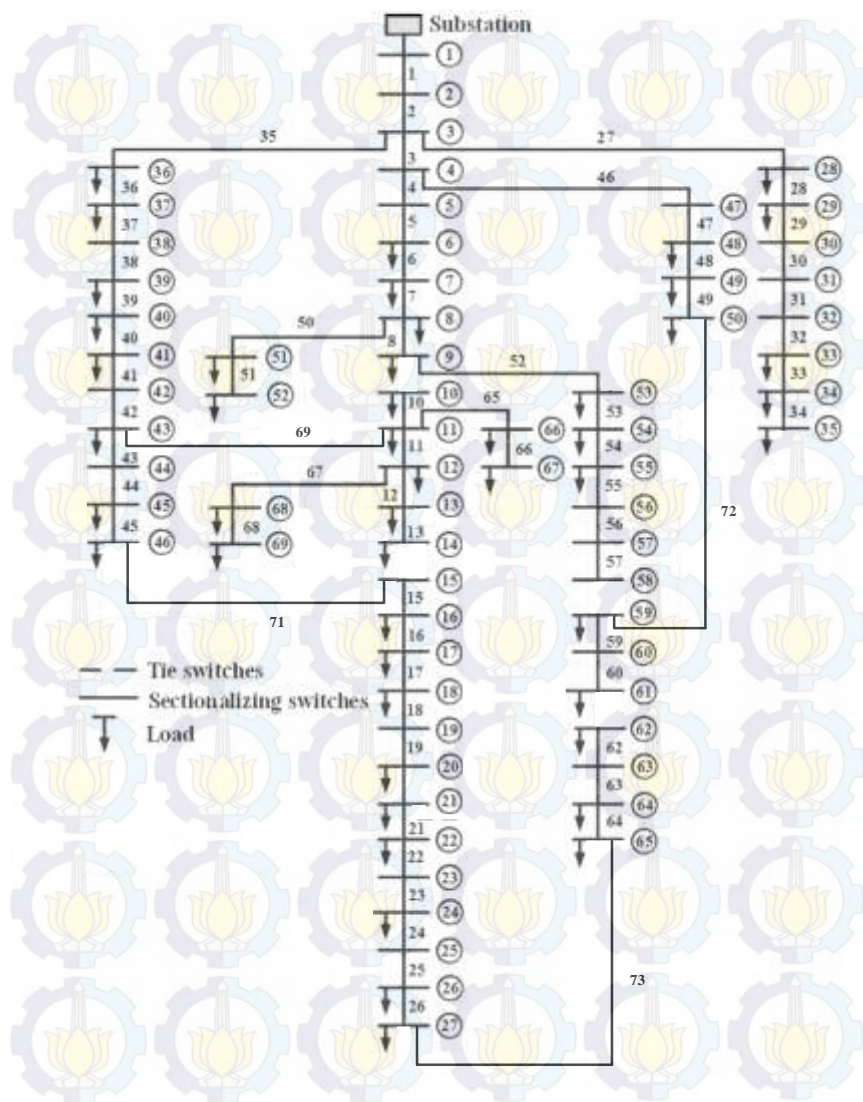
Pada tugas akhir ini, hasil simulasi yang dilakukan pada matlab 2010a divalidasi dengan etap 12.66. Tabel 4.14 merupakan tabel validasi *scenario* 1-6 menggunakan etap12.66. Tabel 4.14 merupakan validasi deviasi tegangan minimum dan tegangan minimum setiap *scenario* dengan etap. Pada tabel 4.14 dapat diamati bahwa nilai error setiap *scenario* tidak sama, hal ini disebabkan oleh jenis optimasi yang dilakukan dan jumlah bus yang besar. Error terbesar didapat pada *scenario* 3 dan 4 yang mengandung komponen kapasitor. Secara umum dapat disimpulkan bahwa *software* aliran daya atau *loadflow* yang digunakan memiliki error yang kecil. Untuk validasi lebih lengkap dapat diamati pada lampiran 6-11. Lampiran tersebut berisi perbandingan magnitude tegangan dan deviasi tegangan pada Matlab dan Etap.

Tabel 4.14 Validasi simulasi Matlab dengan Etap

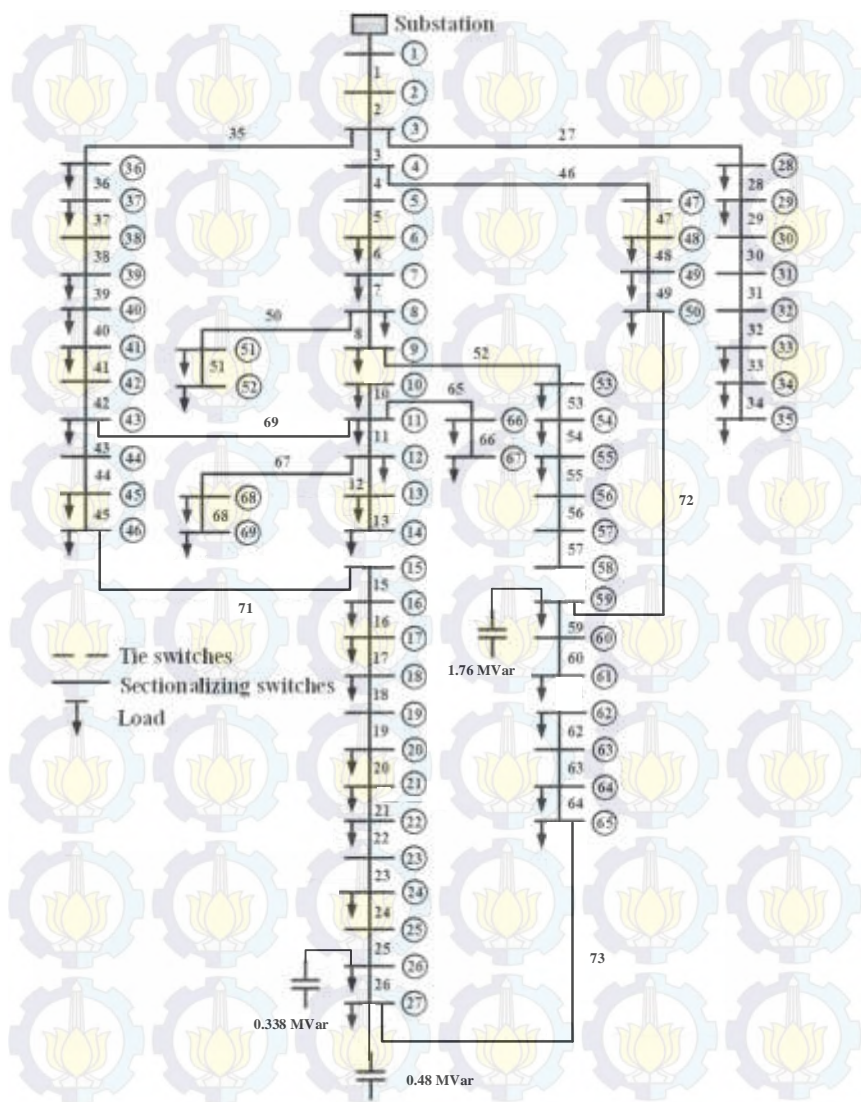
Scenario	Deviasi Tegangan (pu)		Tegangan (pu)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
Scenario 1	0,09066	0,09086	0,90934	0,90914	0,021195
Scenario 2	0,05051	0,05053	0,94949	0,94947	0,001414
Scenario 3	0,02587	0,02670	0,97413	0,97330	0,085465
Scenario 4	0,02459	0,02629	0,97541	0,97371	0,174593
Scenario 5	0,00853	0,00863	0,99147	0,99137	0,010198
Scenario 6	0,00838	0,00843	0,99162	0,99157	0,005018



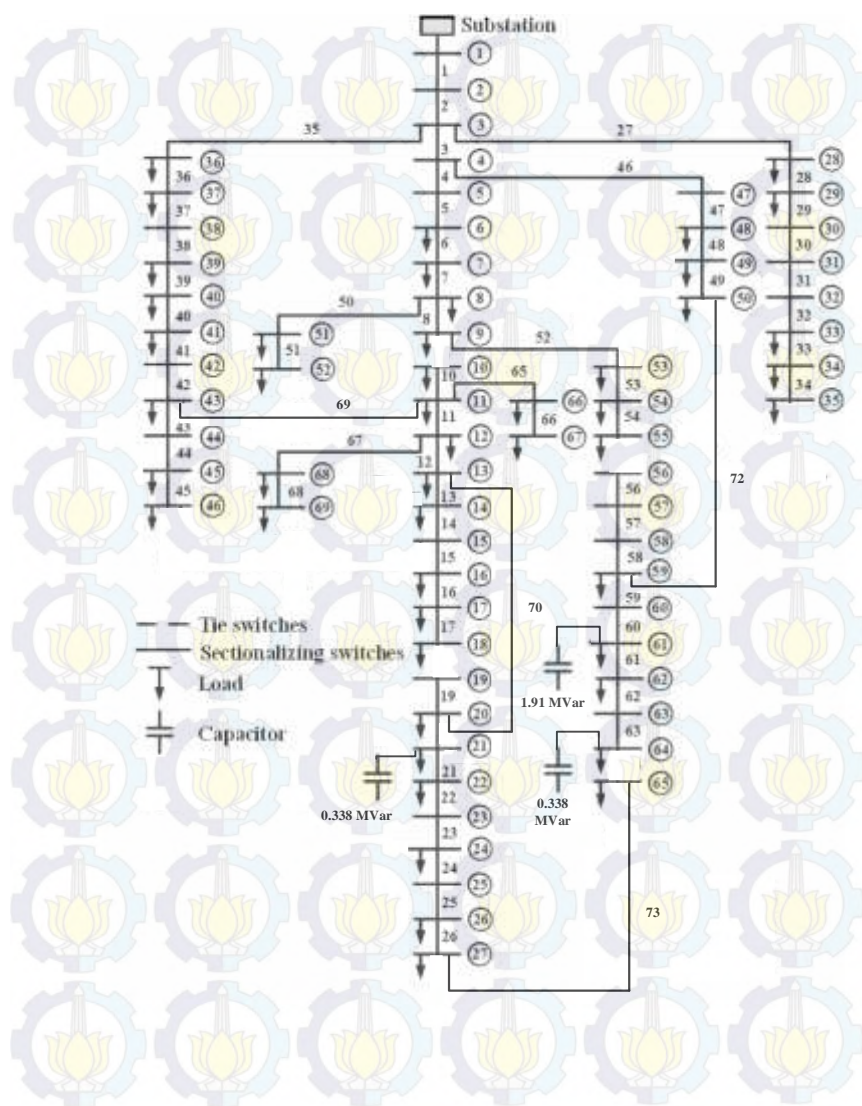
Lampiran 1_Optimasi Scenario 2



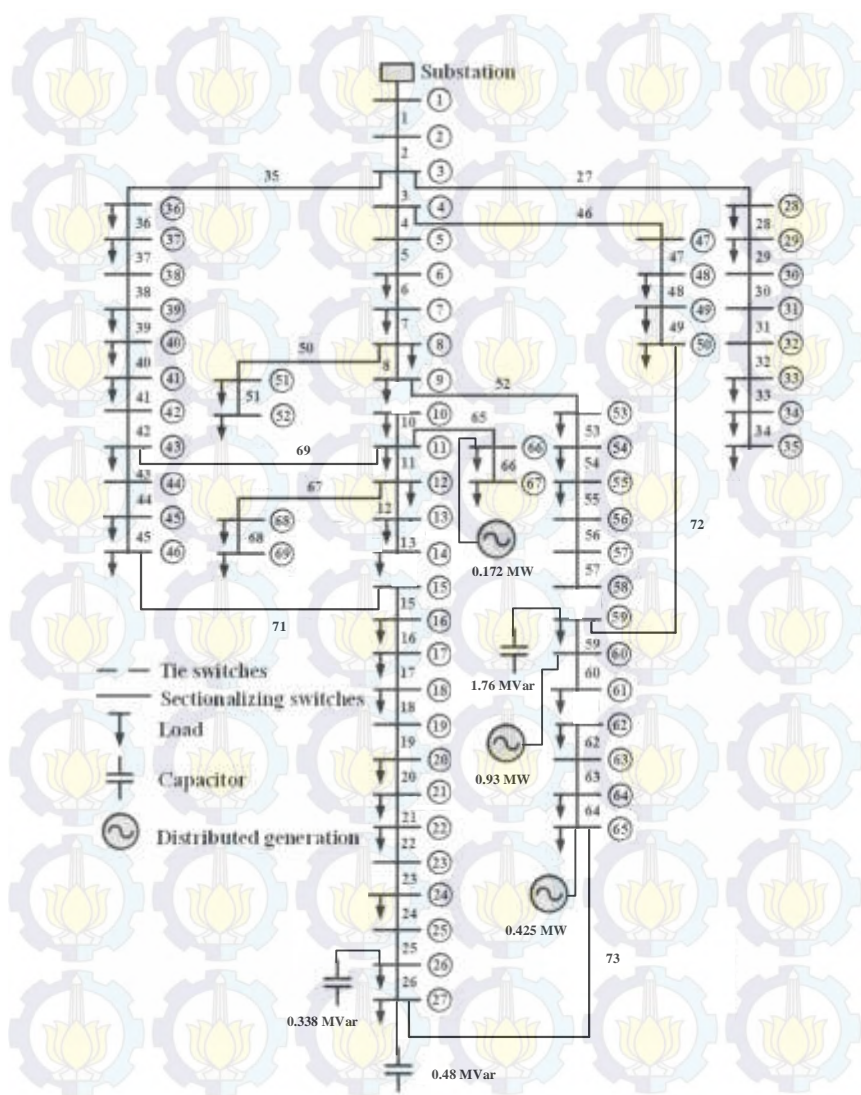
Lampiran 2_Optimasi Scenario 3



Lampiran 3_Optimasi Scenario 4



Lampiran 4_ Optimasi Scenario 5



Lampiran 6

Tabel Validasi *Scenario 1*

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
1	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0002
3	0.9999	0.9999	0.0001	0.0001	0.0004
4	0.9998	0.9998	0.0002	0.0002	0.0002
5	0.9990	0.9990	0.0010	0.0010	0.0008
6	0.9901	0.9901	0.0099	0.0099	0.0057
7	0.9809	0.9808	0.0191	0.0192	0.0118
8	0.9787	0.9786	0.0213	0.0214	0.0130
9	0.9776	0.9774	0.0224	0.0226	0.0142
10	0.9727	0.9724	0.0273	0.0276	0.0238
11	0.9716	0.9713	0.0284	0.0287	0.0266
12	0.9685	0.9682	0.0315	0.0318	0.0356
13	0.9657	0.9653	0.0343	0.0347	0.0480
14	0.9630	0.9624	0.0370	0.0376	0.0611
15	0.9602	0.9595	0.0398	0.0405	0.0745
16	0.9597	0.9590	0.0403	0.0410	0.0766
17	0.9589	0.9581	0.0411	0.0419	0.0810
18	0.9589	0.9581	0.0411	0.0419	0.0812
19	0.9584	0.9576	0.0416	0.0424	0.0852
20	0.9582	0.9573	0.0418	0.0427	0.0875
21	0.9577	0.9568	0.0423	0.0432	0.0916
22	0.9577	0.9568	0.0423	0.0432	0.0923
23	0.9577	0.9568	0.0423	0.0432	0.0940
24	0.9575	0.9566	0.0425	0.0434	0.0980
25	0.9574	0.9564	0.0426	0.0436	0.1066

Tabel Validasi *Scenario 1* (lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
26	0.9574	0.9564	0.0426	0.0436	0.1107
27	0.9574	0.9563	0.0426	0.0437	0.1127
28	0.9999	0.9999	0.0001	0.0001	0.0003
29	0.9999	0.9997	0.0001	0.0003	0.0133
30	0.9997	0.9997	0.0003	0.0003	0.0028
31	0.9997	0.9996	0.0003	0.0004	0.0119
32	0.9996	0.9993	0.0004	0.0007	0.0265
33	0.9994	0.9991	0.0006	0.0009	0.0268
34	0.9990	0.9987	0.0010	0.0013	0.0272
35	0.9990	0.9987	0.0010	0.0013	0.0277
36	0.9999	0.9999	0.0001	0.0001	0.0002
37	0.9997	0.9997	0.0003	0.0003	0.0001
38	0.9996	0.9996	0.0004	0.0004	0.0004
39	0.9995	0.9995	0.0005	0.0005	0.0002
40	0.9995	0.9995	0.0005	0.0005	0.0005
41	0.9988	0.9988	0.0012	0.0012	0.0007
42	0.9986	0.9985	0.0014	0.0015	0.0008
43	0.9985	0.9985	0.0015	0.0015	0.0007
44	0.9985	0.9985	0.0015	0.0015	0.0007
45	0.9984	0.9984	0.0016	0.0016	0.0011
46	0.9984	0.9984	0.0016	0.0016	0.0011
47	0.9998	0.9998	0.0002	0.0002	-0.0002
48	0.9985	0.9985	0.0015	0.0015	0.0005
49	0.9947	0.9947	0.0053	0.0053	0.0009
50	0.9942	0.9941	0.0058	0.0059	0.0010
51	0.9787	0.9785	0.0213	0.0215	0.0134

Tabel Validasi *Scenario 1* (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
52	0.9787	0.9785	0.0213	0.0215	0.0136
53	0.9748	0.9747	0.0252	0.0253	0.0140
54	0.9716	0.9714	0.0284	0.0286	0.0146
55	0.9671	0.9669	0.0329	0.0331	0.0141
56	0.9627	0.9626	0.0373	0.0374	0.0143
57	0.9402	0.9401	0.0598	0.0599	0.0157
58	0.9292	0.9290	0.0708	0.0710	0.0206
59	0.9249	0.9247	0.0751	0.0753	0.0202
60	0.9199	0.9197	0.0801	0.0803	0.0205
61	0.9125	0.9123	0.0875	0.0877	0.0211
62	0.9122	0.9120	0.0878	0.0880	0.0209
63	0.9118	0.9116	0.0882	0.0884	0.0209
64	0.9099	0.9097	0.0901	0.0903	0.0214
65	0.9093	0.9091	0.0907	0.0909	0.0212
66	0.9715	0.9713	0.0285	0.0287	0.0267
67	0.9715	0.9713	0.0285	0.0287	0.0268
68	0.9682	0.9679	0.0318	0.0321	0.0354
69	0.9682	0.9679	0.0318	0.0321	0.0355

Lampiran 7

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 2*

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
1	1	1	0.00000	0.00000	0.00000
2	0.999968	0.999967	0.00003	0.00003	0.00016
3	0.999937	0.999934	0.00006	0.00007	0.00032
4	0.999874	0.99987	0.00013	0.00013	0.00039
5	0.999795	0.999798	0.00021	0.00020	-0.00032
6	0.999028	0.999798	0.00097	0.00020	-0.07701
7	0.998239	0.998228	0.00176	0.00177	0.00103
8	0.998081	0.998067	0.00192	0.00193	0.00135
9	0.998041	0.998032	0.00196	0.00197	0.00095
10	0.97966	0.979422	0.02034	0.02058	0.02435
11	0.979708	0.979463	0.02029	0.02054	0.02499
12	0.978491	0.978246	0.02151	0.02175	0.02502
13	0.978357	0.978118	0.02164	0.02188	0.02438
14	0.978294	0.978053	0.02171	0.02195	0.02463
15	0.975395	0.975002	0.02461	0.02500	0.04025
16	0.974392	0.973973	0.02561	0.02603	0.04296
17	0.972607	0.972145	0.02739	0.02785	0.04743
18	0.972583	0.972125	0.02742	0.02788	0.04711
19	0.971327	0.970826	0.02867	0.02917	0.05156
20	0.970513	0.969994	0.02949	0.03001	0.05355
21	0.969202	0.968643	0.03080	0.03136	0.05770
22	0.969163	0.9686	0.03084	0.03140	0.05803
23	0.968705	0.968122	0.03130	0.03188	0.06010
24	0.967701	0.967081	0.03230	0.03292	0.06408
25	0.965703	0.964998	0.03430	0.03500	0.07304

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 2* (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
26	0.964882	0.964138	0.03512	0.03586	0.07703
27	0.964439	0.963676	0.03556	0.03632	0.07912
28	0.999929	0.999927	0.00007	0.00007	0.00024
29	0.999858	0.999726	0.00014	0.00027	0.01319
30	0.999739	0.999705	0.00026	0.00030	0.00348
31	0.999716	0.999597	0.00028	0.00040	0.01185
32	0.999605	0.999341	0.00039	0.00066	0.02639
33	0.999352	0.999085	0.00065	0.00091	0.02672
34	0.999028	0.99875	0.00097	0.00125	0.02791
35	0.998957	0.998682	0.00104	0.00132	0.02760
36	0.999834	0.999836	0.00017	0.00016	-0.00024
37	0.998468	0.998452	0.00153	0.00155	0.00158
38	0.996998	0.996955	0.00300	0.00305	0.00436
39	0.996572	0.996524	0.00343	0.00348	0.00483
40	0.996548	0.996498	0.00345	0.00350	0.00499
41	0.986746	0.986567	0.01325	0.01343	0.01809
42	0.982575	0.982346	0.01742	0.01765	0.02331
43	0.98203	0.981788	0.01797	0.01821	0.02461
44	0.981951	0.981706	0.01805	0.01829	0.02494
45	0.981003	0.980741	0.01900	0.01926	0.02673
46	0.980995	0.980733	0.01900	0.01927	0.02673
47	0.999739	0.999735	0.00026	0.00026	0.00040
48	0.996406	0.996403	0.00359	0.00360	0.00032
49	0.98549	0.985481	0.01451	0.01452	0.00088
50	0.982954	0.982942	0.01705	0.01706	0.00121
51	0.998041	0.998032	0.00196	0.00197	0.00087

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 2* (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
52	0.998033	0.998024	0.00197	0.00198	0.00095
53	0.997962	0.99795	0.00204	0.00205	0.00119
54	0.997875	0.997863	0.00212	0.00214	0.00127
55	0.99782	0.997805	0.00218	0.00220	0.00150
56	0.99782	0.997805	0.00218	0.00220	0.00150
57	0.99782	0.997805	0.00218	0.00220	0.00150
58	0.99782	0.997805	0.00218	0.00220	0.00150
59	0.958989	0.958973	0.04101	0.04103	0.00165
60	0.955142	0.95513	0.04486	0.04487	0.00124
61	0.949487	0.949473	0.05051	0.05053	0.00141
62	0.958997	0.958231	0.04100	0.04177	0.07990
63	0.959036	0.958273	0.04096	0.04173	0.07964
64	0.959242	0.958474	0.04076	0.04153	0.08004
65	0.961627	0.960868	0.03837	0.03913	0.07894
66	0.979645	0.979407	0.02036	0.02059	0.02427
67	0.979645	0.979406	0.02036	0.02059	0.02435
68	0.97816	0.97792	0.02184	0.02208	0.02447
69	0.97816	0.977919	0.02184	0.02208	0.02463

Lampiran 8

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 3*

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
1	1.0000	1.0000	0.0000	0.00000	0.00000
2	1.0000	1.0000	0.0000	0.00001	-0.00016
3	1.0000	1.0000	0.0000	0.00003	0.00047
4	1.0000	0.9999	0.0000	0.00005	0.00063
5	0.9999	0.9999	0.0001	0.00013	0.00071
6	0.9991	0.9991	0.0009	0.00090	0.00063
7	0.9983	0.9983	0.0017	0.00170	0.00127
8	0.9982	0.9981	0.0018	0.00186	0.00150
9	0.9981	0.9981	0.0019	0.00189	0.00119
10	0.9880	0.9874	0.0120	0.01257	0.05588
11	0.9880	0.9875	0.0120	0.01253	0.05580
12	0.9868	0.9863	0.0132	0.01373	0.05643
13	0.9867	0.9861	0.0133	0.01386	0.05652
14	0.9866	0.9861	0.0134	0.01392	0.05588
15	0.9871	0.9863	0.0129	0.01373	0.08378
16	0.9864	0.9856	0.0136	0.01442	0.08720
17	0.9853	0.9844	0.0147	0.01562	0.09396
18	0.9853	0.9844	0.0147	0.01563	0.09452
19	0.9846	0.9836	0.0154	0.01638	0.10060
20	0.9842	0.9831	0.0158	0.01686	0.10458
21	0.9835	0.9824	0.0165	0.01763	0.11028
22	0.9834	0.9823	0.0166	0.01765	0.11060
23	0.9833	0.9821	0.0167	0.01786	0.11359
24	0.9829	0.9817	0.0171	0.01832	0.12007
25	0.9822	0.9809	0.0178	0.01914	0.13358

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 3* (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
26	0.9819	0.9805	0.0181	0.01947	0.13957
27	0.9816	0.9802	0.0184	0.01976	0.14227
28	1.0000	1.0000	0.0000	0.00004	0.00039
29	0.9999	0.9998	0.0001	0.00024	0.01335
30	0.9998	0.9997	0.0002	0.00026	0.00363
31	0.9998	0.9996	0.0002	0.00036	0.01201
32	0.9996	0.9994	0.0004	0.00062	0.02655
33	0.9994	0.9991	0.0006	0.00088	0.02687
34	0.9991	0.9988	0.0009	0.00121	0.02807
35	0.9990	0.9987	0.0010	0.00128	0.02775
36	0.9999	0.9999	0.0001	0.00007	0.00008
37	0.9994	0.9993	0.0006	0.00068	0.00561
38	0.9985	0.9984	0.0015	0.00156	0.01020
39	0.9983	0.9982	0.0017	0.00182	0.01124
40	0.9983	0.9982	0.0017	0.00183	0.01108
41	0.9929	0.9925	0.0071	0.00750	0.04145
42	0.9906	0.9901	0.0094	0.00990	0.05398
43	0.9903	0.9898	0.0097	0.01022	0.05567
44	0.9903	0.9898	0.0097	0.01024	0.05647
45	0.9901	0.9895	0.0099	0.01052	0.06063
46	0.9901	0.9895	0.0099	0.01052	0.06079
47	0.9999	0.9999	0.0001	0.00010	0.00103
48	0.9989	0.9988	0.0011	0.00117	0.00838
49	0.9960	0.9956	0.0040	0.00439	0.03664
50	0.9957	0.9953	0.0043	0.00473	0.04387
51	0.9981	0.9981	0.0019	0.00189	0.00103

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 3* (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
52	0.9981	0.9981	0.0019	0.00190	0.00119
53	0.9980	0.9980	0.0020	0.00197	0.00142
54	0.9980	0.9979	0.0020	0.00206	0.00142
55	0.9979	0.9979	0.0021	0.00212	0.00174
56	0.9979	0.9979	0.0021	0.00212	0.00174
57	0.9979	0.9979	0.0021	0.00212	0.00174
58	0.9979	0.9979	0.0021	0.00212	0.00174
59	0.9834	0.9826	0.0166	0.01743	0.08370
60	0.9796	0.9788	0.0204	0.02118	0.08442
61	0.9741	0.9733	0.0259	0.02670	0.08547
62	0.9763	0.9749	0.0237	0.02511	0.14353
63	0.9763	0.9749	0.0237	0.02507	0.14336
64	0.9765	0.9751	0.0235	0.02487	0.14406
65	0.9789	0.9775	0.0211	0.02252	0.14299
66	0.9880	0.9874	0.0120	0.01258	0.05581
67	0.9880	0.9874	0.0120	0.01258	0.05589
68	0.9865	0.9859	0.0135	0.01406	0.05645
69	0.9865	0.9859	0.0135	0.01406	0.05661

Lampiran 9

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 4*

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
1	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.00000
2	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	-0.00008
3	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.00055
4	1.0000	0.9999	0.0000	0.0001	0.00047
5	0.9999	0.9999	0.0001	0.0001	0.00055
6	0.9991	0.9991	0.0009	0.0009	0.00126
7	0.9983	0.9983	0.0017	0.0017	0.00111
8	0.9982	0.9981	0.0018	0.0019	0.00135
9	0.9981	0.9981	0.0019	0.0019	0.00174
10	0.9863	0.9858	0.0137	0.0142	0.04997
11	0.9863	0.9858	0.0137	0.0142	0.05069
12	0.9835	0.9829	0.0165	0.0171	0.06128
13	0.9810	0.9802	0.0190	0.0198	0.07609
14	0.9796	0.9789	0.0204	0.0211	0.07692
15	0.9783	0.9775	0.0217	0.0225	0.07767
16	0.9780	0.9773	0.0220	0.0227	0.07737
17	0.9777	0.9769	0.0223	0.0231	0.07764
18	0.9777	0.9769	0.0223	0.0231	0.07788
19	0.9809	0.9800	0.0191	0.0200	0.08866
20	0.9809	0.9800	0.0191	0.0200	0.08866
21	0.9805	0.9796	0.0195	0.0204	0.09369
22	0.9805	0.9796	0.0195	0.0204	0.09337
23	0.9804	0.9794	0.0196	0.0206	0.09523
24	0.9801	0.9791	0.0199	0.0209	0.09905
25	0.9797	0.9786	0.0203	0.0214	0.10804

Tabel Validasi Optimasi *Scenario* 4 (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
26	0.9795	0.9784	0.0205	0.0216	0.11113
27	0.9794	0.9783	0.0206	0.0217	0.11323
28	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.00047
29	0.9999	0.9998	0.0001	0.0002	0.01343
30	0.9998	0.9997	0.0002	0.0003	0.00292
31	0.9998	0.9996	0.0002	0.0004	0.01201
32	0.9996	0.9994	0.0004	0.0006	0.02663
33	0.9994	0.9991	0.0006	0.0009	0.02695
34	0.9991	0.9988	0.0009	0.0012	0.02815
35	0.9990	0.9987	0.0010	0.0013	0.02783
36	0.9999	0.9999	0.0001	0.0001	0.00047
37	0.9992	0.9992	0.0008	0.0008	0.00324
38	0.9983	0.9982	0.0017	0.0018	0.00673
39	0.9981	0.9980	0.0019	0.0020	0.00784
40	0.9980	0.9980	0.0020	0.0020	0.00776
41	0.9924	0.9921	0.0076	0.0079	0.02786
42	0.9899	0.9896	0.0101	0.0104	0.03686
43	0.9896	0.9893	0.0104	0.0107	0.03743
44	0.9896	0.9892	0.0104	0.0108	0.03751
45	0.9895	0.9891	0.0105	0.0109	0.03800
46	0.9895	0.9891	0.0105	0.0109	0.03800
47	0.9999	0.9999	0.0001	0.0001	0.00103
48	0.9991	0.9990	0.0009	0.0010	0.01534
49	0.9969	0.9963	0.0031	0.0037	0.06299
50	0.9968	0.9961	0.0032	0.0039	0.07639
51	0.9981	0.9981	0.0019	0.0019	0.00166

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 4* (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
52	0.9981	0.9981	0.0019	0.0019	0.00182
53	0.9980	0.9980	0.0020	0.0020	0.00127
54	0.9980	0.9979	0.0020	0.0021	0.00127
55	0.9979	0.9979	0.0021	0.0021	0.00158
56	0.9829	0.9815	0.0171	0.0185	0.14490
57	0.9829	0.9815	0.0171	0.0185	0.14490
58	0.9829	0.9815	0.0171	0.0185	0.14490
59	0.9829	0.9815	0.0171	0.0185	0.14490
60	0.9800	0.9785	0.0200	0.0215	0.15395
61	0.9771	0.9754	0.0229	0.0246	0.17300
62	0.9770	0.9753	0.0230	0.0247	0.17391
63	0.9768	0.9751	0.0232	0.0249	0.17402
64	0.9754	0.9737	0.0246	0.0263	0.17459
65	0.9789	0.9778	0.0211	0.0222	0.11377
66	0.9863	0.9858	0.0137	0.0142	0.04998
67	0.9863	0.9858	0.0137	0.0142	0.04998
68	0.9832	0.9826	0.0168	0.0174	0.06058
69	0.9832	0.9826	0.0168	0.0174	0.06074

Lampiran 10

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 5*

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
1	1.0000	1.0000	0.0000	0.00000	0.00000
2	1.0000	1.0000	0.0000	0.00001	0.00008
3	1.0000	1.0000	0.0000	0.00002	0.00008
4	1.0000	1.0000	0.0000	0.00003	-0.00008
5	0.9999	0.9999	0.0001	0.00010	0.00000
6	0.9991	0.9991	0.0009	0.00088	0.00071
7	0.9983	0.9983	0.0017	0.00167	0.00135
8	0.9982	0.9982	0.0018	0.00183	0.00079
9	0.9981	0.9981	0.0019	0.00187	0.00127
10	0.9937	0.9933	0.0063	0.00671	0.03824
11	0.9937	0.9933	0.0063	0.00667	0.03815
12	0.9925	0.9921	0.0075	0.00787	0.03884
13	0.9924	0.9920	0.0076	0.00800	0.03884
14	0.9923	0.9919	0.0077	0.00806	0.03821
15	0.9953	0.9947	0.0047	0.00526	0.05857
16	0.9952	0.9946	0.0048	0.00541	0.06175
17	0.9951	0.9944	0.0049	0.00556	0.06699
18	0.9951	0.9944	0.0049	0.00556	0.06692
19	0.9953	0.9946	0.0047	0.00540	0.07150
20	0.9954	0.9947	0.0046	0.00530	0.07403
21	0.9957	0.9949	0.0043	0.00513	0.07902
22	0.9957	0.9949	0.0043	0.00511	0.07949
23	0.9959	0.9951	0.0041	0.00489	0.08130
24	0.9965	0.9956	0.0035	0.00439	0.08632
25	0.9978	0.9968	0.0022	0.00316	0.09697

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 5* (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
26	0.9984	0.9974	0.0016	0.00264	0.10103
27	0.9986	0.9975	0.0014	0.00246	0.10299
28	1.0000	1.0000	0.0000	0.00002	0.00000
29	0.9999	0.9998	0.0001	0.00022	0.01296
30	0.9998	0.9998	0.0002	0.00025	0.00324
31	0.9998	0.9996	0.0002	0.00035	0.01161
32	0.9997	0.9994	0.0003	0.00061	0.02694
33	0.9994	0.9991	0.0006	0.00087	0.02735
34	0.9991	0.9988	0.0009	0.00120	0.02767
35	0.9990	0.9987	0.0010	0.00127	0.02736
36	1.0000	1.0000	0.0000	0.00004	0.00016
37	0.9997	0.9996	0.0003	0.00036	0.00316
38	0.9993	0.9992	0.0007	0.00081	0.00696
39	0.9991	0.9991	0.0009	0.00094	0.00727
40	0.9991	0.9991	0.0009	0.00095	0.00798
41	0.9966	0.9964	0.0034	0.00364	0.02798
42	0.9956	0.9952	0.0044	0.00477	0.03658
43	0.9955	0.9951	0.0045	0.00492	0.03817
44	0.9955	0.9951	0.0045	0.00492	0.03856
45	0.9955	0.9951	0.0045	0.00487	0.04126
46	0.9955	0.9951	0.0045	0.00487	0.04189
47	1.0000	1.0000	0.0000	0.00005	0.00016
48	0.9995	0.9995	0.0005	0.00050	0.00126
49	0.9984	0.9984	0.0016	0.00163	0.00506
50	0.9987	0.9986	0.0013	0.00140	0.00593
51	0.9981	0.9981	0.0019	0.00187	0.00111

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 5* (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
52	0.9981	0.9981	0.0019	0.00188	0.00127
53	0.9981	0.9980	0.0019	0.00195	0.00150
54	0.9980	0.9980	0.0020	0.00204	0.00150
55	0.9979	0.9979	0.0021	0.00210	0.00103
56	0.9979	0.9979	0.0021	0.00210	0.00103
57	0.9979	0.9979	0.0021	0.00210	0.00103
58	0.9979	0.9979	0.0021	0.00210	0.00103
59	0.9983	0.9982	0.0017	0.00178	0.01005
60	0.9969	0.9968	0.0031	0.00321	0.01014
61	0.9915	0.9914	0.0085	0.00863	0.01020
62	0.9960	0.9950	0.0040	0.00505	0.10373
63	0.9960	0.9950	0.0040	0.00501	0.10373
64	0.9962	0.9952	0.0038	0.00481	0.10395
65	0.9985	0.9975	0.0015	0.00251	0.10300
66	0.9939	0.9935	0.0061	0.00651	0.03855
67	0.9939	0.9935	0.0061	0.00651	0.03863
68	0.9922	0.9918	0.0078	0.00820	0.03869
69	0.9922	0.9918	0.0078	0.00820	0.03877

Lampiran 11

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 6*

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
1	1.0000	1.0000	0.0000	0.00000	0.00000
2	1.0000	1.0000	0.0000	0.00001	-0.00008
3	1.0000	1.0000	0.0000	0.00001	-0.00024
4	1.0000	1.0000	0.0000	0.00003	0.00039
5	0.9998	0.9998	0.0002	0.00016	0.00079
6	0.9983	0.9982	0.0017	0.00176	0.00570
7	0.9967	0.9966	0.0033	0.00341	0.01078
8	0.9963	0.9962	0.0037	0.00378	0.01205
9	0.9962	0.9961	0.0038	0.00392	0.01253
10	0.9943	0.9941	0.0057	0.00590	0.02137
11	0.9939	0.9937	0.0061	0.00631	0.02384
12	0.9934	0.9931	0.0066	0.00687	0.03196
13	0.9944	0.9939	0.0056	0.00608	0.04329
14	0.9943	0.9939	0.0057	0.00614	0.04346
15	0.9980	0.9980	0.0020	0.00202	0.00135
16	0.9977	0.9980	0.0023	0.00202	-0.02320
17	0.9974	0.9976	0.0026	0.00236	-0.02360
18	0.9974	0.9976	0.0026	0.00236	-0.02344
19	0.9954	0.9949	0.0046	0.00507	0.05102
20	0.9954	0.9949	0.0046	0.00507	0.05102
21	0.9958	0.9952	0.0042	0.00476	0.05481
22	0.9958	0.9953	0.0042	0.00473	0.05473
23	0.9961	0.9956	0.0039	0.00444	0.05646
24	0.9968	0.9962	0.0032	0.00381	0.06022
25	0.9984	0.9977	0.0016	0.00227	0.06883

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 6* (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
26	0.9991	0.9984	0.0009	0.00164	0.07179
27	0.9995	0.9987	0.0005	0.00127	0.07389
28	1.0000	1.0000	0.0000	0.00002	-0.00032
29	0.9999	0.9998	0.0001	0.00022	0.01272
30	0.9998	0.9998	0.0002	0.00024	0.00300
31	0.9998	0.9997	0.0002	0.00035	0.01209
32	0.9997	0.9994	0.0003	0.00061	0.02663
33	0.9994	0.9991	0.0006	0.00086	0.02703
34	0.9991	0.9988	0.0009	0.00120	0.02743
35	0.9990	0.9987	0.0010	0.00127	0.02783
36	1.0000	1.0000	0.0000	0.00003	0.00039
37	0.9998	0.9998	0.0002	0.00020	0.00055
38	0.9997	0.9997	0.0003	0.00026	0.00008
39	0.9997	0.9997	0.0003	0.00028	0.00047
40	0.9997	0.9997	0.0003	0.00028	0.00047
41	0.9997	0.9997	0.0003	0.00033	0.00071
42	0.9997	0.9997	0.0003	0.00035	0.00063
43	0.9997	0.9997	0.0003	0.00035	0.00087
44	0.9996	0.9996	0.0004	0.00037	0.00103
45	0.9993	0.9993	0.0007	0.00067	0.00063
46	0.9993	0.9993	0.0007	0.00067	0.00087
47	1.0000	1.0000	0.0000	0.00004	0.00039
48	0.9998	0.9998	0.0002	0.00024	0.00055
49	0.9955	0.9954	0.0045	0.00457	0.00302
50	0.9948	0.9947	0.0052	0.00525	0.00333
51	0.9963	0.9962	0.0037	0.00381	0.01237

Tabel Validasi Optimasi *Scenario 6* (Lanjutan)

Bus	Tegangan (p.u)		Deviasi (p.u)		Error (%)
	Matlab	Etap	Matlab	Etap	
52	0.9963	0.9962	0.0037	0.00382	0.01253
53	0.9962	0.9960	0.0038	0.00397	0.01237
54	0.9961	0.9960	0.0039	0.00402	0.01300
55	0.9986	0.9985	0.0014	0.00149	0.00696
56	0.9978	0.9978	0.0022	0.00224	0.00649
57	0.9951	0.9951	0.0049	0.00492	0.00548
58	0.9938	0.9938	0.0062	0.00621	0.00477
59	0.9934	0.9933	0.0066	0.00670	0.00525
60	0.9929	0.9928	0.0071	0.00720	0.00477
61	0.9916	0.9916	0.0084	0.00843	0.00502
62	0.9942	0.9935	0.0058	0.00652	0.07420
63	0.9943	0.9935	0.0057	0.00648	0.07420
64	0.9945	0.9937	0.0055	0.00629	0.07443
65	0.9968	0.9960	0.0032	0.00398	0.07402
66	0.9939	0.9936	0.0061	0.00637	0.02384
67	0.9939	0.9936	0.0061	0.00637	0.02392
68	0.9931	0.9928	0.0069	0.00720	0.03173
69	0.9931	0.9928	0.0069	0.00720	0.03189

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa data yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Optimasi rekonfigurasi (*scenario 2*) memberikan pengaruh besar terhadap deviasi tegangan yang diujikan pada sistem distribusi IEEE 69 bus, yaitu penurunan deviasi tegangan dari 0,907 pu menjadi 0,0505 pu, tetapi tegangan sistem masih di luar *range* yang diijinkan.
2. Penggabungan optimasi rekonfigurasi dan kapasitor mampu menurunkan deviasi tegangan yang diujikan pada sistem IEEE 69 bus dari 0,0505 pu (*scenario 2*) menjadi 0,02587 pu (berurutan) atau 0,0246 pu (simultan).
3. Hasil paling optimal didapat pada penggabungan optimasi rekonfigurasi, pemasangan kapasitor dan DG dengan nilai deviasi tegangannya 0,0085 pu (berurutan) atau 0,0083 pu (simultan) dimana nilai tersebut sangat mendekati 0 pu dan semua tegangan bus sangat mendekati nilai 1 pu.
4. Perbedaan optimasi secara berurutan dan simultan berada pada cara proses optimasinya, optimasi berurutan dilakukan per-teknik optimasi sedangkan simultan dilakukan sekaligus atau bersamaan.
5. Secara umum hasil *fitness* optimasi secara simultan lebih baik daripada optimasi secara berurutan.
6. Metode *Genetic Algorithm* (GA) dapat digunakan untuk pencarian solusi dalam penggabungan beberapa teknik optimasi.

5.2 Saran

Adapun saran-saran dari penulis adalah sebagai berikut :

1. Untuk kedepan perlunya perbaikan dan pengembangan *software* untuk hasil yang lebih sempurna, seperti perbaikan *software* optimasi dan *loadflow* serta pengembangan *multi-objective function*.
2. Perlunya diadakan penelitian selanjutnya seperti pengujian yang dilakukan pada sistem distribusi *unbalance* dan *real plant*.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wang ,Minnan dan Zhong,Jin. "A Novel Method for Distributed Generation and Capacitor Optimal Placement Considering Voltage Profiles", IEEE journal, 2011.
- [2] Russel John C.Gallano and Allan C.Nerves "Multi-objective Optiization of Distribution Network Reconfiguration with Capacitor and Distributed Generator Placement", IEEE journal, 2014.
- [3] Richard, E Brown "*Electric Power Distribution Reliability*", ABB Electric System Technology Institute, Raleigh, North Carolina, 2002
- [4] Juan_M.Gers "*Distribution System Analysis and Automation*", The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2014
- [5] Penangsang, Ontoseno, "*Analisis Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik*", ITS Press, Surabaya, 2006.
- [6] A.Mohamed Imran, M.Kowsalya, D.P Kotahri " A Novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks", ELSAVIER journal, 2014
- [7] A.Mohamed Imran, M.Kowsalya " A new power system reconfiguration scheme for power loss minimization and voltage profile enhancement using fireworks algorithm", ELSAVIER journal, 2014
- [8] Randy L. Haupt, Sue Ellen Haupt " *Pratical Genetic Algorithm*", John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved, Canada,2004.
- [9] Novialifah, Rizka Winda "Algoritma Aliran Daya untuk Sistem Distribusi Radial dengan Beban Sensitif Tegangan", Jurnal Teknik POMITS, 2014
- [10] Kalantari, Meysam dan Kazemi,Ahad "Placement of distributed Generation Unit and Capacitor Allocation in Distribution System using Genetic Algorithm", IEEE journal, 2011.
- [11] Syed, Meera Shareef dan Injeti, Satish Kumar "Simultaneous Optimal Placement of DGs and Fixed Capacitor Banks in Radial Distrubution System using BSA Optimization", International Journal of Computer Application, December 2014
- [12] A. Mohaputra, S.Behera, S Nayak, B.K. Panigrahi "A study on DG and Capacitor Placement in Radial Distribution System", journal IEEE, 2012



(Halaman ini sengaja dikosongkan)